# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
## ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA

# TESIS

# "MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA GENETICA DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L) POR INDUCCION MUTAGENICO CON AZIDA DE SODIO"

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

MEJORAMIENTO GENETICO

## PRESENTADO POR:

**Bach**. MILIA GIOVANNA, BENITO CRISÓSTOMO.

## PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRONOMO

**HUANCAVELICA – PERU**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA**
**(Creada por ley N° 25265)**
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la Ciudad Universitaria "Común Era"; auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, a los 15 días del mes de noviembre del año 2019, a horas 8:30 am, se reunieron los miembros del Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

**PRESIDENTE** : Dr. Ruggerths Neil DE LA CRUZ MARCOS

**SECRETARIO** : M. Sc. Julián Leonardo MANTARI MALLQUI

**VOCAL** : Ing. Carlos Raúl VERASTEGUI ROJAS

Designados con resolución **N° 332-2019-D-FCA-UNH**; del proyecto de investigación titulado: **"MODIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA GENÉTICA DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) POR INDUCCIÓN MUTAGÉNICO CON AZIDA DE SODIO"**

Cuyo autora es la graduada:

**BACHILLER:** Milia Giovanna BENITO CRISÓSTOMO

**ASESORADO POR:** M. Sc. Efraín David ESTEBAN NOLBERTO

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizando la evaluación; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto; y luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente resultado.

**APROBADO** [X] **POR**....UNANIMIDAD.....

**DESAPROBADO** [ ]

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

Dr. Ruggerths Neil DE LA CRUZ MARCOS
Presidente

M. Sc. Julián Leonardo MANTARI MALLQUI
Secretario

Ing. Carlos Raúl VERASTEGUI ROJAS
Vocal

**TITULO:**

**“MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA GENETICA DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L) POR INDUCCION MUTAGENICO CON AZIDA DE SODIO”**

# AUTOR

**Bach.** Milia Giovanna, BENITO CRISOSTOMO

**ASESOR:**

**M. Sc.** Efraín David, ESTEBAN NOLBERTO.

# DEDICATORIA

A mis padres Amancio BENITO y Eliza CRISOSTOMO. Por su esfuerzo, cariño, esmerado apoyo y sobre todo comprensión en las etapas más difíciles de mi vida.

A mis hermanos, Fredy, Hugo y Mari BENITO CRISOSTOMO. Por brindarme todo su apoyo, paciencia y confianza en todo momento.

A todos mis amigos, los que estuvieron desde el principio y a los que llegaron en diversos momentos de este camino.

## AGRADECIMIENTO

A mi centro de estudios, la Universidad Nacional de Huancavelica Facultad de Ciencias Agrarias, de la Escuela Profesional de Agronomía, por brindarme conocimientos académicos, profesionales en mi etapa de estudiante.

Mi profundo agradecimiento a mis padres y a toda mi familia, por todo lo que han hecho para que yo pueda seguir adelante en mi carrera profesional.

A mi asesor, M. Sc. Efraín David, ESTEBAN NOLBERTO, por la orientación y apoyo en la culminación del presente trabajo de investigación.

Al, M. Sc. Rolando, PORTA CHUPURGO, por la orientación y apoyo incondicional en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Santiago Oscar, PUENTE SEGURA, por brindarme su apoyo y orientación en el laboratorio de biotecnología.

Un sincero agradecimiento y estima personal a todos los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias por su ardua labor de formar profesional competente, y de transmitir responsabilidades experiencias y conocimientos, que me guiaron y contribuyeron en mi formación académica durante mi carrera profesional.

A las personas quienes llegaron en diversos momentos de este camino en la ejecución del presente trabajo de investigación.

**INDICE**

Acta de sustentación ..... ii
Título ..... iii
Autor ..... iv
Asesor: ..... v
Dedicatoria ..... vi
Agradecimiento ..... vii
Indice ..... viii
Resumen ..... xiv
Abstrac ..... xv
Introduccion ..... xvi
CAPÍTULO I ..... 18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 18
1.1. Descripción del problema ..... 18
1.2. Formulación del problema ..... 19
1.3. Objetivo. ..... 19
1.3.1. Objetivo general. ..... 19
1.3.2. Objetivos específicos. ..... 19
1.4. Justificación ..... 19
1.5. Limitación ..... 20
CAPITULO II ..... 21
MARCO TEÓRICO ..... 21
2.1 Antecedentes ..... 21
2.2 Bases Teóricas ..... 24
2.2.1. Importancia del cultivo ..... 24
2.2.2. Origen del cultivo ..... 24
2.2.3. Clasificación botánica del Trigo ..... 25
2.2.4. Descripcion botanica ..... 25
2.2.5. Fases fenológicas ..... 26
2.2.6. Composición química del cultivo de trigo ..... 28
2.2.7. Demanda de trigo en el Perú y en el Mundo ..... 28
2.2.8. Requerimientos climáticos ..... 29
2.2.9. Cultivares de trigo ..... 29
2.2.10. Plagas y enfermedades ..... 30
2.2.10.1. Plagas ..... 30
2.2.11. Enfermedades ..... 31

2.2.12 Fisiopatías ..... 32
2.2.13. Mutacion ..... 33
2.2.14. Tipo de mutacion ..... 34
2.2.15. Mutación y mejoramiento vegetal ..... 35
2.2.16. El ázida sódica ..... 36
2.3 Bases conceptuales ..... 36
2.4 Definición de términos. ..... 37
2.5 Hipótesis ..... 37
2.6 Variables ..... 37
2.7 Operacionalización de variables ..... 38
CAPÍTULO III: ..... 40
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 40
3.1. Ámbito temporal y espacial ..... 40
3.1.1. Ubicación política. ..... 40
3.1.2. Ubicación geopolítica. ..... 40
3.1.3. Condiciones climatologicas ..... 40
3.2. Tipo de investigación. ..... 40
3.3. Nivel de investigación. ..... 41
3.4. Población, Muestra, Muestreo ..... 41
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ..... 41
3.5.1. Procedimiento ..... 42
3.5.2. Croquis experimental ..... 43
3.5.3. Tratamientos ..... 43
3.5.4. Pasos de la investigación ..... 43
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos ..... 45
CAPITULO IV ..... 45
PRESENTACION DE RESULTADOS ..... 45
4.1. Análisis de Información ..... 45
4.1.1. Porcentaje de germinación a los 3 dds ..... 46
4.1.2. Porcentaje de germinación a los 7 dds ..... 48
4.1.3. Porcentaje de germinación a los 11 dds ..... 49
4.1.4. Emergencia a los 10 dds ..... 51
4.1.5. Emergencia a los 18 dds ..... 53
4.1.6. Altura de la planta a los 11 dds ..... 55
4.1.7. Altura de la planta a los 18 dds ..... 57
4.1.8. Longitud de la raíz a los 18 dds ..... 59
4.1.9. Diámetro del tallo de la planta a los 18 dds ..... 61
4.2. Prueba de hipótesis ..... 63
4.3. Discusión de resultados ..... 63
4.3.1. Germinación ..... 63

4.3.2. Emergencia ..... 64
4.3.3. Altura de planta ..... 64
4.3.4. Longitud de raíces ..... 65
4.3.5. Diámetro del tallo ..... 66
CONCLUSIONES ..... 67
RECOMENDACIONES ..... 69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 70
APENDICE ..... 72

# ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 3 dds……..... **45**

**Cuadro 2:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 7 dds..... **47**

**Cuadro 3:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds..... **49**

**Cuadro 4:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 10 dds..... **51**

**Cuadro 5:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds..... **53**

**Cuadro 6:** Análisis de varianza (ANVA) para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds. ..... **55**

**Cuadro 7:** Análisis de varianza (ANVA) para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds. ..... **57**

**Cuadro 8:** Análisis de varianza (ANVA) para la longitud de la raíz de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds. ..... **59**

**Cuadro 9:** Análisis de varianza (ANVA) para el diámetro del tallo de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds. ..... **61**

# INDICE DE TABLAS

**Tabla 5:** Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 3 dds. ..... **46**

**Tabla 6:** Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 7 dds. ..... **48**

**Tabla 7:** Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds. ..... **50**

**Tabla 8:** Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 10 dds. ..... **52**

**Tabla 9:** Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds. ..... **54**

**Tabla 10:** Prueba de Tukey para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds..... **56**

**Tabla 11:** Prueba de Tukey para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.....**58**

**Tabla 12:** Prueba de Tukey para la longitud de la raíz de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds. ..... **60**

**Tabla 13:** Prueba de Tukey para el diámetro del tallo de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds……**62**

# INDICE DE GRAFICOS

**Gráfico 1**. Germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (3 dds)..... **47**

**Gráfico 2**. Germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (7 dds)..... **49**

**Gráfico 3**. Germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (11 dds)..... **51**

**Gráfico 4**. Emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (10 dds). ..... **53**

**Gráfico 5**. Emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds).....**55**

**Gráfico 6**. Altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (11 dds)..... **57**

**Gráfico 7**. Altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds)..... **59**

**Gráfico 8**. Longitud de la raíz de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds)……..... **61**

**Gráfico 9**. Diámetro del tallo de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds)……..... **63**

# RESUMEN

La investigación se realizó en la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía, laboratorio de Biotecnología, el objetivo fue, evaluar los efectos de la aplicación de diferentes dosis de azida de sodio en las semillas de trigo. Ya que los agricultores de Acobamba actualmente siembran pocas variedades adaptados a las zonas de producción, que son poco productivos, por lo que se requiere de un sistema que involucre herramientas complementarias al sistema de mejora convencional, buscando el aprovechamiento adecuado de la mutación genética, una de las alternativas son las mutaciones inducidas. El experimento se instaló en laboratorio e invernadero, las semillas fueron remojadas en azida de sodio a dosis de 0,0 mM; 0,5 mM; 1,0 mM; 1,5 mM; 2,0 mM; 2,5 mM; 3,0 mM; 3,5 mM y buffer $pH_3$. Se utilizó el diseño completamente al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de tukey, evaluando porcentaje de germinación (%), longitud de raíz (cm), diámetro de tallo (mm), porcentaje de emergencia (%) y altura de plantas (cm). Los resultados obtenidos sugieren que el tratamiento (T1) con 0.5 mM produjeron un efecto promedio (T2) con 1.0 Mm y Buffer comparado con las diferentes dosis de azida de sodio presentaron diferencia significativa para las variables evaluados, recomendando para provocar cambios genéticos deseados, ya que no existe diferencias estadísticas significativas con el tratamiento (T7) de 3.5 mM Azida sódico.

**Palabras claves:** Estructura genética, inducción mutagénico, genotipo, azida de sodio.

# ABSTRACT

The research was conducted at the National University of Huancavelica, Faculty of Agricultural Sciences, Professional School of Agronomy, Biotechnology Laboratory, the objective was to evaluate the effects of the application of different doses of sodium azide on wheat seeds. Since Acobamba farmers currently plant few varieties adapted to the production areas, which are not very productive, so a system is required that involves complementary tools to the conventional improvement system, seeking the adequate use of the genetic mutation, a of the alternatives are induced mutations. The experiment was installed in a laboratory and greenhouse, the seeds were soaked in sodium azide at a dose of 0.0 mM; 0.5 mM; 1.0 mM; 1.5 mM; 2.0 mM; 2.5 mM; 3.0 mM; 3.5 mM and $pH_3$ buffer. The completely randomized design was used with nine treatments and four repetitions per treatment. For the comparison of means, the tukey test was used, evaluating germination percentage (%), root length (cm), stem diameter (mm), emergency percentage (%) and plant height (cm). The results obtained suggest that the treatment (T1) with 0.5 mM produced an average effect (T2) with 1.0 Mm and Buffer compared with the different doses of sodium azide presented a significant difference for the evaluated variables, recommending to cause desired genetic changes, since that there are no significant statistical differences with the treatment (T7) of 3.5 mM Sodium Azide.

Keywords: Genetic structure, mutagenic induction, genotype, sodium azide.

# INTRODUCCION

El problema más importante en los últimos años que preocupa a la mayoría de los países y sobre todo al nuestro, es la falta de alimentos debido al crecimiento de la población mundial, por lo que, surge la necesidad de elevar la producción y la productividad de los cultivos, entre ellos el trigo (*Triticum aestivum* L.).

En el Perú, el trigo es un cereal muy utilizado en la alimentación de la población peruana, su producción se desarrolla mayormente sobre los 2 mil y hasta 4 mil metros de altitud, en tierras poco productivas que pertenecen a los agricultores más pobres del país, los que no disponen de semilla certificada, conocimiento y asistencia técnica en el manejo agronómico que les garantice calidad y productividad, tampoco están organizados, a pesar que la población campesina de nuestra sierra mucho depende de este grano para su alimentación y su economía **(Agrosistemas, 2008).**

Desde hace mucho tiempo, nuestra dependencia alimenticia sobre un reducido grupo de especies, en las que está el trigo, los investigadores se han concentrado mucho en los procesos de selección y propagación de las poaceas en general para poder incrementar sus rendimientos. Uno de los métodos por los que podemos aumentar el rendimiento o la productividad del trigo es el mejoramiento genético, el cual nos puede permitir obtener genotipos con características deseables. El mejoramiento mediante inducción de mutaciones ha dado posibilidades de selección de diferentes mutantes en los cultivos. Es indispensable el desarrollo de nuevas variedades a través del mejoramiento genético de plantas con adecuada arquitectura de planta, precoces, alto rendimiento y calidad. Las hibridaciones entre especies muy relacionadas están limitadas en su capacidad para crear nuevas variedades de cultivos **(Matijevic, 2013),** la alternativa es la inducción de mutaciones que provoca cambios que, de manera natural, tardarían demasiado tiempo en aparecer o que, por efectos directamente vinculados al azar, no aparecerían **(Salas, 2015),** a diferencia de la hibridación y la selección, la mejora de la mutación tiene la ventaja de mejorar un defecto en un cultivar elite, sin perder sus características agronómicas y de calidad. Se puede cambiar una o pocas características específicas de una variedad en el menor

tiempo posible **(Datta, 2014),** como por ejemplo la resistencia al estrés abiótico, los parámetros físicos del grano, valor nutricional, alterar el tamaño de la planta, la época de floración y cosecha, la resistencia a plagas y enfermedades entre otros, sin perturbar ninguno de las bondades pre existentes en las variedades. La azida sódica, un mutágeno químico se ha convertido en una herramienta importante para mejorar rasgos agronómicos de las plantas de cultivo. Se está utilizando para producir resistencia en varios cultivos susceptibles para mejorar su rendimiento y rasgos de calidad contra patógenos dañinos **(Salas, 2015).**

# CAPÍTULO I

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción del problema

La presente investigación se centra en el aporte de un nuevo enfoque en el ámbito del fitomejoramiento en nuestro país, mediante la inducción de mutaciones a través de agentes químicos con la finalidad de generar más variabilidad en la búsqueda de la obtención de variedades que otorguen un mayor rendimiento en el cultivo de trigo *(Triticum aestivum* L*) var "*gavilán*"*, que es la más cultivada en el departamento de Huancavelica, provincia de Acobamba. De esta forma se lograría beneficiar a los pequeños productores agrícolas de la mencionada variedad, pudiendo ellos obtener mayores ganancias con una producción más eficiente y se conseguiría por otro lado, utilizar la ciencia para beneficiar a estos sectores sociales.

Los genotipos del trigo *(Triticum aestivum* L*) var "*gavilán*"* cultivados especialmente en la sierra del Perú, en Acobamba, las cosechas no tienen buenos niveles de productividad. Actualmente se dispone de un reducido número de variedades adaptados para las zonas de producción antes mencionada, los mismos que son poco productivos, por lo que se requiere de un sistema que involucre herramientas complementarias al sistema de mejora convencional, buscando el aprovechamiento adecuado de la variabilidad genética que se cuenta. Por tanto, se hace necesario establecer un programa que permita acelerar las variaciones utilizando una de las alternativas como son las mutaciones inducidas. Del mismo que, la principal ventaja de la mutagénesis, con respecto a otras técnicas productoras de variabilidad genética, es que a partir de una misma población tratada con un agente mutagénico se pueden obtener genotipos con alteraciones en genes muy diversos debido a su acción aleatoria en el genoma.

## 1.2. Formulación del problema

- ¿Qué efectos producirán la aplicación de diferentes dosis de azida de sodio a las semillas de trigo en la generación y desarrollo de nuevas plantas?

## 1.3. Objetivo.

### 1.3.1. Objetivo general.

- Evaluar los efectos de la aplicación de diferentes dosis de azida de sodio a las semillas de trigo en la generación y desarrollo de nuevas plantas.

### 1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar la dosis de azida de sodio que produce cambios fenotípicos en plantas de trigo.
- Evaluar el desarrollo de la planta de trigo proveniente de semillas tratadas con azida de sodio.

## 1.4. Justificación

En nuestro país, el cultivo de trigo se encuentra bastante difundido en la costa y sierra, siendo La Libertad, Cajamarca, Arequipa y Ancash; los departamentos con mayor nivel de producción, concentrando el 59% de la producción nacional; sin embargo, no logra cubrir la demanda interna, el Perú es el cuarto país de mayor consumo per cápita de trigo a nivel de América Latina, con un consumo promedio anual de 63 kg por persona, esta cifra es superada por Chile, Argentina y Uruguay, con consumos por encima de los 100 kg, según la base de datos brindada por la Asociación Latinoamericana de Industriales Molineros **(Gaceta, 2013).**

Por otro lado, siendo Acobamba productores del cultivo de trigo, las variedades con que cuenta el agricultor son susceptibles a plagas y enfermedades, de bajo rendimiento, que constituyen dificultades a resolver.

En esta perspectiva, se hace necesario la generación de nuevas variedades que se adapten a las necesidades productivas del agricultor y al mismo tiempo que satisfagan los requerimientos del consumidor. Y entre los métodos de mejoramiento del cultivo de trigo se tiene la inducción de

mutaciones, el mismo que posibilitará la modificación de la estructura genética de la población de plantas, con posibilidades de seleccionar nuevos genotipos promisorios. Por ello en el trabajo de investigación que se propone, es con la finalidad de encontrar la dosis óptima que ocasionen modificaciones genéticas (mutaciones) y disminuir su periodo vegetativo, elevar su nivel productivo y seleccionar individuos tolerantes a factores bióticos y abióticos.

## 1.5. Limitación

- ✓ Encontrar las semillas de trigo de la variedad gavilán en la zona de Acobamba.
- ✓ Conseguir los materiales que se establecieron en el trabajo de investigación.
- ✓ El riego inter diario a las instalaciones de trigo, ya que el agua es escasa en la ciudad de Acobamba.

# CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

## 2.1. Antecedentes

El azida de sodio es un mutágeno químico que produce diferenciaciones tanto a nivel fisiológico como morfológico. El objetivo del presente trabajo fue determinar la dosis ideal de azida sódica para la inducción a mutaciones en semillas de *Sesamum indicum var.* Escoba blanca, fueron empleados semillas de sésamo de la variedad *Escoba*, sometidas a concentraciones progresivos de azida sódica. Se tomaron medida del porcentaje de germinación, la altura de la planta y la longitud de la raíz. En cuanto al porcentaje de germinación se recalca la deducción del mismo a dosis altas y la similitud entre la altura de la planta entre los tratamientos control y 0,3 mM de azida sódica. El tratamiento mutagénico más cercano al GR40 que sería de 2,71875 cm, está dado por el tratamiento 5 (T5) de 0,5. Se recomienda elaborar ensayos con mayores dosis de azida sódica a las empleadas y mayor tiempo de exposición al mismo, además de aumentar el número de muestras a estudiar **(Carrillo, 2017).**

Según **Salas (2015),** en su ensayo que se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología, del Programa de investigación y proyección social en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria la Molina y consistió en comparar las respuestas de las plantas de Salvia a los diferentes tratamientos con el agente mutágeno químico azida de sodio. Se utilizaron semillas certificadas de Salvia farinacea Benth. var. Blue Bedder. Los tratamientos con azida de sodio que se ensayaron fueron cuatro, con concentraciones de 1 mM (Tl), 3 mM (T2), 5 mM (T3) y 7 mM (T4). Además, se ensayó un tratamiento sólo con solución Buffer y otro Control. Seiscientas semillas de Salvia se emplearon para cada tratamiento. El tiempo que las semillas persistieron en remojo en la solución de Azida de sodio, o en la solución buffer, fue de una hora. Se evaluaron las variables de porcentaje de germinación, tamaño de radícula, sobrevivencia de plantas, tamaño de

planta (Zona aérea) y número de varillas florales, para el caso del porcentaje de germinación se observaron diferencias significativas en todos los tratamientos, siendo T3 quien presentó, fuera del control, el porcentaje más alto (75.33). El tratamiento T4, la de mayor concentración, presentó el valor más bajo de porcentaje de germinación (8.67) y el más elevado tanto en tamaño de planta medido en cm. (23. 76) como en número de varillas florales (15). En cuanto a la longitud de radículas el único tratamiento que no presentó diferencias significativas respecto al control fue el T3, con una reducción porcentual del tamaño de radícula de 26.37.

Según **Castillo (2010),** existen antecedentes donde se demuestra que a través de la inducción de mutaciones es posible obtener genotipos de plantas resistentes a herbicidas de amplio espectro. La quínoa se ha incluido en programas de mejoramiento donde se ha considerado el uso de inducción de mutaciones para obtener genotipos con características deseables. La presente investigación tiene como objetivo inducir mutaciones en semillas de quínoa de la variedad Regalona Baer y determinar si es posible seleccionar mutantes con una elevada tolerancia a herbicidas del grupo de las imidazolinonas. El trabajo se divide en tres partes: inducción de mutaciones, multiplicación del material, etapas de selección y por último validación de la tolerancia en líneas seleccionadas. Los resultados obtenidos indican que la concentración óptima de etil metano sulfonato (EMS) para desatar mutaciones es de 1 y 2%, expuesto 8 horas. La selección de líneas tolerantes se realizó con la aplicación del herbicida Onduty (imazapic + imazapyr) pertenecientes al grupo de las imidazolinonas; seleccionando y cosechando aquellas líneas que post-aplicación mostraron los mayores desarrollos. Las líneas seleccionadas que se utilizaron en el ensayo final de validación corresponden a las líneas 242-1, 242-2, 243-1, 243-2, 244-1, 246-2, O-5, O-7 y O-10-1. Las variables evaluadas 15 días post-aplicación del herbicida fueron: estado fenológico, altura de planta y fitotoxicidad. Para la variable estado fenológico no se encontraron diferencias significativas, puesto que todas las plantas se encontraban en la misma etapa de desarrollo. Los resultados obtenidos indican que para la variable altura de planta se encontraron diferencias

significativas, debido a que existe gran variación principalmente entre las líneas 243-1 y 242-2. En cuanto a la fitotoxicidad se determinó que existen diferencias significativas, puesto que las líneas 243-1 y 243-2 presentaron los mayores niveles de fitotoxicidad, mientras que las líneas O-10-1 y 242-2 presentaron los mayores niveles de aguante a las imidazolinonas. Se realizó un análisis de reciprocidad entre las variables altura de planta y fitotoxicidad determinando que ambas variables son independientes. En el último ensayo de validación aún se detectó una gran segregación dentro de las líneas mutadas por lo que se seleccionaron siete plantas que mostraron la más alta tolerancia al herbicida. Estos individuos pertenecen a las líneas 242-2, 2462, O-5 y O-10.

Según **Vargas (2016),** los productores de café y el impacto económico ocasionado por el ataque de diferentes plagas y enfermedades en dicho cultivo, se planteó el proyecto de generar un protocolo para inducir variantes genéticas en café (*coffea arabica* L.) mediante inducción de mutaciones con el uso de los agentes químicos azida de sodio y EMS. Con el fin de determinar el tiempo de inmersión adecuado para tratar la semilla de café, estas se sumergieron por 4,8 y 12 horas en una solución de azida de sodio (0, 25, 50, 75 y 100 mM) y con el etil metano sulfonato (0, 80,160, 240, 320 y 400 mM). En el caso de la azida de sodio se utilizaron dos controles, uno $H_2O$ y otro con el buffer de fosfatos y para el EMS se realizó un control con $H_2O$. se estableció, como dosis de inmersión adecuada y para ambos agentes químicos la de 8 h de exposición. Posteriormente las semillas de café se colocaron en inmersión por 8 h en una solución de azida de sodio (0, 50, 75, 100 y 125 mM) y EMS (0, 80, 160, 240, 320 y 400 mM). Se determinó que una concentración de 50 Mm de azida de sodio y entre 160 y 240 Mm EMS, con un tiempo de inmersión de 8 h, genera los mejores resultados en la inducción de mutaciones. Según el análisis molecular mediante AFLPs, de las 6 combinaciones de imprimadores utilizadas en la técnica de AFLP, una combinación mostro polimorfismos en los tratamientos de 50 y 100 Mm de azida y 3 combinaciones mostraron polimorfismos en el genoma de las plantas tratadas con 160 Mm EMS.

**Monroy (2018),** menciona en su investigación sobre el efecto que tiene el compuesto mutagénico Azida de Sodio, sobre la regeneración en plantas en cultivo de tejidos de caña de azúcar para generar diversidad genética, en el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. El eje de sistematización consistió en evaluar el efecto de cada dosis de Azida de Sodio. El estudio se realizó utilizando la variedad CG 03-025, en cengicaña, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, en donde se evaluaron las dosis de 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 mM durante 15 y 30 minutos y un testigo en medio de regeneración liquido durante 15 y 30 minutos y un testigo absoluto sin tratamiento alguno. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con once tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron porcentaje de sobrevivencia de callos, porcentaje de callos que regeneran plantas y número de plantas regeneradas. Entre los resultados, el estudio indica que el mutagénico Azida de Sodio en las dosis evaluadas no manifestó ningún efecto estadísticamente significativo para las variables registradas. Se recomienda evaluar el compuesto Azida de Sodio a mayores concentraciones y/o tiempos.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Importancia del cultivo

El trigo (*Triticum*) es un cereal de la familia de las gramíneas cuyo centro de domesticación fue el actual Medio Oriente y que ocurrió a principios del Neolítico a partir de este punto en el tiempo, el cultivo rápidamente se impuso en Europa, África y el Asia, usando como carta de presentación su valor nutritivo y sus cualidades asociadas a su alto contenido de gluten con relación a otros cereales.

El trigo (*Triticum* spp) es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*; pero el trigo que se cultiva es de la variedad *Triticum aestivum* son plantas anuales de la familia de las gramíneas. El trigo (de color amarillo) es uno de los tres granos más ampliamente producidos globalmente, junto al

maíz y el arroz, y el más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. **(Anapo, 2008).**

### 2.2.2. Origen del cultivo

El trigo es cultivado desde el comienzo de la agricultura. No se conoce con precisión donde y cuando el trigo se originó, tal y como lo conocemos hoy. La individualización del centro de origen no resulta nada fácil por la mezcla de individuos silvestres afines con tipos de características intermedias, entre la especie cultivada y otras gramíneas morfológicamente similares. Los estudios realizados por De Candolle indican que el trigo es originario de Mesopotamia, mientras que Vavilov afirma que las especies del genero *Triticum* han tenido su centro de diferenciación en Turquía, Afganistán e india.

El origen del trigo es parte del suroeste de Asia ya era el trigo una cosecha importante desde los primeros registros históricos. Se cultivaba en Grecia, en Persia, en Egipto, y en toda Europa, desde los tiempos prehistóricos. El trigo fue introducido a los Estados Unidos por los primeros colonizadores a lo largo de las costas orientales. **(Anapo, 2008).**

### 2.2.3. Clasificación botánica del Trigo

Según **Iñigo, (2010)**

- ✓ Reino :*Plantae*
- ✓ División :*Magnoliophyta*
- ✓ Clase : *Liliopsida*
- ✓ Subclase : *Commelinidae*
- ✓ Orden : *Poales*
- ✓ Familia : *Poaceae*
- ✓ Género : *Triticum*
- ✓ Especie : *Vulgare, aestivum,durum,etc*
- ✓ Nombre científico : *Triticum aestivum* L.

### 2.2.4. Descripción botánica

**Hoffman (2010),** realizo la descripción botánica del trigo como sigue:

**Raíz:** el trigo posee una raíz de tipo fibroso. Suelen alcanzar más de un metro, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm. El crecimiento de las raíces comienza en el periodo de ahijado, estando todas

ellas poco ramificadas, el desarrollo de las raíces se considera completo al final del "encañado".

**Tallo:** el tallo del trigo es una caña hueca con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior, es poco ramificado al comienzo de la fase vegetativa, el tallo se halla dentro de una masa celular que constituye el nudo de ahijamiento. Este tallo presenta brotes axilares, de los que se originan los tallos hijos.

**Hojas:** las hojas del trigo tienen una forma linear lanceolada (largadas, rectas y terminadas en punta), con vaina, lígula y aurículas bien definidas.

**Inflorescencia:** es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores.

**Flor:** consta de un pistilo y tres estambres. Está protegida por dos brácteas verdes o glumillas, de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados.

**Fruto:** los granos (frutos) son cariópsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados.

### 2.2.5. Fases fenológicas

**Rimache (2008)**, menciona que durante el ciclo vegetativo de la planta sufre diferentes cambios entre la emergencia, crecimiento y maduración de la planta. El ciclo vegetativo consta desde la siembra hasta la cosecha, es de aproximadamente de 155 días a 170 días de las variedades de ciclo largo y de 125 días a 150 días de las variedades de ciclo corto.

El mismo autor describe a continuación las fases vegetativas de las plantas como ser: emergencia, estado de macollaje, encañado, hoja bandera, estado de bota, emergencia de la espiga y floración.

- **Emergencia:** Es la aparición de los primeros tejidos de la planta sobre la superficie del suelo con una a dos hojas.
- **Estado macollaje:** el macollado comienza cuando el trigo tiene tres a cuatro hojas, si ocurre en otoño el nacimiento de "hijos" y el crecimiento de las hojas se paraliza con las bajas temperaturas, pero

como la tierra sigue caliente varios días, las raíces siguen creciendo y profundizando si el terreno es penetrable; durante el frio del invierno se paraliza toda la actividad vegetativa, después del frio sigue amacollando el trigo, hasta que alcanza mayores temperaturas comienza a encañar.

- **Encañado:** tiene lugar una vez que comienzan a elevarse las temperaturas, los nudos pierden la facultad de emitir hijos y comienzan a alargarse los entre nudos del tallo. El encañado consiste, por tanto, en el crecimiento del tallo por alargamiento de los entre nudos. La caña sigue alargándose durante el espigado y hasta el final de la madurez, alcanzando longitudes diferentes según las variedades. La altura del tallo no tiene relación con la producción de grano, pero si con la de paja, que es mayor en variedades altas.
- **Hoja bandera:** Este estadio de crecimiento comienza cuando la última hoja (hoja bandera) empieza a emerger. La hoja bandera es de gran importancia ya que conforma aproximadamente el 75% del área foliar que efectivamente contribuye al llenado del grano. Cuando emerge la hoja bandera al menos hay tres nudos visibles sobre la superficie; ocasionalmente se puede observar un cuarto nudo.
- **Estado de bota:** La espiga, totalmente desarrollada, se visualiza fácilmente en la porción hinchada de la vaina foliar por debajo de la hoja bandera.
- **Emergencia de la espiga:** Aristas visibles, espiga emergiendo entre la vaina de la hoja bandera.
- **Floración:** La floración implica la aparición de las anteras más allá de las espigas, después de que la fertilización ha sucedido dentro. La floración en una planta de trigo dura pocos días.
- **Maduración:** El período de llenado de grano varía de acuerdo al clima. Típicamente es de 30 días en ambientes con estrés severo; y puede exceder los 50 días en ambientes de alto rendimiento y sin estrés.

- **Grano lechoso:** El estado grano lechoso es cuando al presionar el grano se observa un líquido blanquecino pero las envolturas están formadas y el tamaño potencial del mismo, determinado.
- **Grano pastoso:** es cuando este comienza a perder su tonalidad verdosa, se amarillea y adquiere consistencia pastosa o granulosa en su endosperma.
- **Grano duro:** es cuando presionado el grano fuertemente con una uña, no se rompe, pero se marca.
- **Grano maduro:** es cuando presenta color amarillento o tostado y no se aplasta bajo la presión.

### 2.2.6. Composición química del cultivo de trigo

El trigo es la única que tiene la habilidad de formar una masa cohesiva y tenaz, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción. Esta propiedad se debe a su composición química, y en especial a las proteínas y su capacidad para formar gluten. **(Anapo, 2008).**

**TABLA 1. Composición química del cultivo de trigo en porcentajes**

| Componentes | Mínimo % | Máximo % |
|---|---|---|
| Humedad | 8 | 18 |
| Almidón | 60 | 68 |
| Proteína | 7 | 18 |
| Lípidos | 1,5 | 2 |
| Fibra cruda | 2 | 2,5 |
| Cenizas | 1,5 | 2 |

### 2.2.7. Demanda de trigo en el Perú y en el Mundo

Según **Scotiabank Perú (2016)**, informa sobre la demanda de trigo en el Perú, es cubierta casi en su totalidad la Industria Molinera, que requiere dos millones de toneladas métricas de trigo por año, siendo abastecido por importaciones (alrededor del 90% del total), y que, del trigo producido en el país, sólo una pequeña parte se destina a la industria molinera. La industria está compuesta por alrededor de 20 empresas a nivel nacional, y las empresas más importantes son Alicorp y Molinera Inca, ambas pertenecientes al Grupo Romero. Otras empresas importantes son Molitalia, Cogorno, Anita Food, Industrias

Teal, Compañía Molinera del Centro (que junto a Panadería San Jorge y GN son parte del grupo Salomón), Molino El Triunfo y Agroindustria Santa María.

Según **FAO (2015),** estima que la utilización total de trigo aumentará en alrededor de 1,3 % anual, debido principalmente al crecimiento registrado en los países en desarrollo, y al incremento de la demanda prevista en las economías en transición. El consumo humano directo continúa representando el porcentaje mayor de la utilización total de trigo, principalmente en los países en desarrollo.

### 2.2.8. Requerimientos climáticos

Según **Carretero *et al.* (2007)** mencionan que la temperatura mínima de crecimiento oscila de 3 a 4ºC, optima de 25ºC y máxima de 30 a 32ºC, además necesita una cantidad de calor para cumplir su ciclo vegetativo y que va de 1900 a 2400ºC en trigos de invierno y de 1200 a 1600ºC en trigos de primavera. Siendo perjudiciales las temperaturas elevadas en primavera al final de la maduración.

El mismo autor mencionan que la precipitación que necesitan para el crecimiento de este cultivo es de 500- 600 mm optimo, pero se desarrollan a partir de los 300 mm, recalcando que son mejores los años de más lluvia en primavera.

### 2.2.9. Cultivares de Trigo.

El cultivar de trigo debe reunir un conjunto de características deseables desde el punto de vista de productividad. Además del rendimiento, un cultivar debe ser capaz de producir un grano de calidad, lo cual es fundamental para su comercialización, resistencia a plagas y enfermedades.

- Cultivares según su habitad de desarrollo y requerimientos de temperatura.

**Según Mellado (2004),** da la siguiente clasificación:

**a) Cultivares invernales.**

Estos cultivares requieren condiciones bajas temperaturas para poder pasar de la etapa vegetativa a la etapa reproductiva, es decir, necesitan estar bajo condiciones de frio para poder espigar y producir grano. Generalmente presentan un crecimiento inicial rastrero, y un largo periodo vegetativo.

**b) Cultivares de hábito alternativo.**

Son cultivares que tienen menos requerimiento de frio para poder espigar en comparación con los cultivares de invierno, pero requieren más frio respecto a un cultivar de primavera. Presentan un hábito de crecimiento inicial semi erecto y un periodo vegetativo intermedio entre los cultivares de hábito invernal y de primavera.

**c) Cultivares primaverales.**

Son cultivares que no tienen requerimientos de frio para poder pasar de su fase vegetativa a la fase reproductiva. Presentan un hábito de crecimiento inicial erecto y un corto periodo vegetativo.

### 2.2.10. Plagas y enfermedades

#### 2.2.10.1. Plagas

**Palacio, (2006**) menciona las plagas y enfermedades que atacan a la planta de trigo.

**Chinches del trigo:** Paulilla, garrapatillo o sampedrito (géneros *Aelia* y *Eurygaster*). Estas grandes chinches atacan a las espigas clavando su pico en el grano, que arrugan y deforman. Más que por la disminución de cosecha que producen, los daños que ocasionan son porque su pico emite unos enzimas que destruyen el gluten y dan origen a harinas de inferior calidad.

**Pulgones:** Los pulgones, también conocidos por los agricultores con el nombre de “piojillos”, son insectos chupadores, con un largo pico que clavan en la planta,

absorbiendo sus jugos. Pertenecen a la familia *Aphidae*, por lo que se les conoce con el nombre de áfidos.

**La mariquita:** llamada también vaquita de San Antón en algunos lugares, se alimenta de las larvas y de los adultos de los pulgones. Muchos agricultores, al ver coincidir la mariquita con el líquido segregado por los pulgones, creen que es debido a ella, y lo consideran como insecto nocivo, cuando en realidad es claramente beneficioso. Otro enemigo de los pulgones es el Neuróptero *Chrysopa vulgaris*, cuya larva devora cientos de pulgones. También son insectos parásitos de los pulgones algunos dípteros y, sobre todo, unas avispitas (Himenópteros), que viven en su estado de larva en el interior de los pulgones.

Al trigo le atacan los pulgones, haciéndolo en las hojas y, sobre todo, en las espigas una vez salidas del "zurrón", causando daños en la producción de grano cuando son abundantes.

**Hetrodera Avenae:** El trigo y los demás cereales de invierno pueden verse afectados por varias especies de nematodos entre la que destaca esta especie. Los ataques de Nematodos suelen presentarse en rodales, tomando las hojas del trigo un color atabacado. Los ataques pueden confundirse con el pulgón de raíz o con encharcamientos, pues los síntomas son parecidos.

### 2.2.11. Enfermedades

- **Las royas de los cereales** (*Puccinia graminis*): Son hongos del género *Puccinia*, que ocasionan unas pústulas en las hojas y las espigas de los cereales. En las hojas, las pústulas perjudican la asimilación y perturban el metabolismo, con lo que el rendimiento disminuye. En el tallo afectan a los vasos conductores, disminuyendo el transporte de savia. El grano queda

pequeño y rugoso. Las pústulas que ocasionan son origen de un gran número de esporas, que son transportadas por el viento y originan la propagación de la enfermedad. Entre las royas más importantes se encuentran la Roya amarilla, producida por el hongo *Puccinia striiformis*, la Roya de la hoja, producida por *Puccinia recondita* y la Roya del tallo, producida por *Puccinia graminis*.

- **Oidio (*Erysiphe graminis*):** La enfermedad se manifiesta por la aparición del micelio, que toma forma de una borra blanca, que al final toma una tonalidad gris y aparecen pequeños puntos negros (peritecas). La enfermedad tiene lugar sobre todo cuando alternan días húmedos con cálidos.
- **Caries o tizón del trigo** (*Tilletia caries*)**:** También llamado niebla. Es un hongo del grupo de los Basidiomicetos, del género Tilletia. Los granos enfermos contienen en su interior un polvillo negruzco, constituido por numerosísimas esporas del hongo. Estos granos atacados suelen ser más pequeños y redondos que los granos normales. El interior del grano queda destruido y sólo subsiste la envoltura externa. Las espigas atacadas son más erectas que las sanas, debido a que el grano no pesa **(Palacio, 2006).**

### 2.2.12. Fisiopatías

- **Accidentes debidos al frío:** Las heladas originan un movimiento del agua desde el interior hacia el exterior de las células, yendo a ocupar los meatos intercelulares, donde se hiela y transforma en cristales. En consecuencia, se produce una deshidratación de la célula, que puede llegar a producir una congelación del protoplasma. Es claro que el perjuicio de las heladas será tanto menor cuanto mayor sea la concentración celular y más rico sea el protoplasma en agua. La fertilización influye sobre la resistencia al frío, al aumentar la concentración del jugo celular, elevando la presión osmótica y

retardando la emigración de agua fuera de las células. El ión potasio, que favorece la asimilación clorofílica y, por tanto, la formación de azúcares, y que es absorbido fácilmente por la permeabilidad selectiva de la membrana celular, tiene a este respecto un papel preponderante.

- **Accidentes debidos a exceso de humedad:** Un exceso de humedad provoca la asfixia de las raíces y esta asfixia puede favorecer, además, el desarrollo de gérmenes anaerobios causantes de podredumbre. Por otra parte, muchos microorganismos aerobios que intervienen en la nitrificación mueren por falta de oxígeno. El exceso de humedad perjudica notablemente en los terrenos arcillosos, hasta el punto de que los años buenos de trigo suelen coincidir con los inviernos secos, siempre que la primavera sea lluviosa.
- **Accidentes debidos al calor:** En lugares donde azotan con frecuencia vientos fuertes y secos, el riesgo de asurado se hace especialmente importante, hasta el punto de que se haga imposible el cultivo del trigo.
- **Encamado:** El encamado es tan importante en zonas fértiles que tan sólo se pueden sembrar variedades que no sean propensas a este riesgo, tanto por su tamaño como por la resistencia del tallo. El encamado es más frecuente en terrenos de regadío que en los de secano y, por tanto, en esta forma de cultivo presenta un problema muy a tener en cuenta, por lo que hay que buscar siempre variedades resistentes, sobre todo en terrenos fértiles.
- **Corrimiento de la flor:** Generalmente es debido a ausencia de fecundación. A veces es debido a no existir un equilibrio de los tres elementos principales NPK **(Agroinformacion-Trigo.html 2015).**

### 2.2.13. Mutación

**Llanos (2013)** menciona que la mutación es un proceso por el cual los genes pasan de una forma alélica a otra. Se pueden clasificar según su origen y según el tejido que afectan. Aquellas clasificadas según su

origen son dos: las espontáneas (errores en la replicación o lesiones) y las inducidas (con agentes mutagénicos físicos o químicos). Según el tejido que afectan, pueden ser somáticas o germinales. El uso de las mutaciones inducidas para mejoramiento es una forma de originar variabilidad genética. No se pueden generar nuevos genes sino nuevas alternativas para los existentes y no pueden ser dirigidas a un gen específico.

Las mutaciones son cambios hereditarios repentinos que pueden afectar a los genes, o a los cromosomas. Las mutaciones se pueden producir naturalmente, o bien tratando a las semillas con productos químicos, con rayos X, o con radiaciones de Cobalto. Las mutaciones pueden ser:

- **Mutaciones espontaneas:** son las que se producen en condiciones normales de crecimiento y del ambiente. Representan la base de la evolución.
- **Mutaciones inducidas:** son aquellas provocadas por factores externos (mutágenos) pueden ser producidas por:
  - **Agentes físicos:**
    - Radiaciones ionizantes =3D rayos x, rayos alfa, beta y gamma de fuentes radiactivas (radio, uranio, cobalto), rayos cósmicos (diminución de la capa de ozono).
    - Radiaciones no ionizantes =3D rayos U.V.
    - Choque térmico
  - **Agentes químicos:**
    - Análogos de bases de ácidos nucleicos (cafeína), agentes que atacan al ADN (formalina), nitrógeno, gas mostaza, colorantes de acridina (proflavina, acridina), carcinógenos (benzopireno), sulfato de cobre, ácido bórico, ácido fórmico, colchicina, uretano, etc.
  - **Agentes bilógicos:**
    - Virus, bacterias.

No hay ningún mutágeno que produzca mutaciones específicas. Las mutaciones pueden provocar efectos:

Nocivos =3D mutaciones letales, cáncer artritis espinal, patológicas congénitas.

Beneficiosos =3D se inducen mutaciones para el mejoramiento de plantas y animales. (http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo).

### 2.2.14. Tipos de mutación:

- **Mutaciones moleculares:** son aquellas que producen alteraciones en la secuencia de nucleótidos de un gen. Estas mutaciones se pueden dar por:
  1. **Sustitución de bases:** es la alteración de un solo nucleótido del ADN. Hay dos tipos de sustitución de bases:
     1.1. **Transiciones:** es el cambio de un nucleótido de una base purica por otra purica o de una pirimidinica por otra pirimidinica.
     1.2. **Transversiones:** es el cambio de una base purica por una pirimidinica o viceversa. El número de transversiones posibles es el doble al número de transiciones, sin embargo, estas últimas son más frecuentes.
  2. **Pérdida o inserción:** es la adición o eliminación de uno o más pares de nucleótidos. Etas inserciones alteran el orden de lectura y pueden cambiar muchos codones. Este tipo de mutaciones implican un corrido en el orden de lectura, salvo que se compensen entre sí, pueden alterar la secuencia de aminoácidos de la proteína codificada y podría traer consecuencias negativas.
- **Mutaciones cromosómicas:** el cambio afecta a un segmento del cromosoma, por tanto, a su estructura. Estas mutaciones pueden ocurrir por:
  1. **Delección:** es la pérdida de un segmento cromosómico, que puede ser terminal o intercalar. Cuando ocurre en los dos extremos, la porción que porta el centrómero, une sus extremos rotos y forma un cromosoma anular.
  2. **Duplicación:** repetición de un segmento cromosómico.

3. **Inversión:** cuando un segmento cromosómico rota 180° sobre sí mismo y se coloca en forma invertida, por lo que se altera el orden de los genes en el cromosoma.
4. **Translocaciones:** un segmento cromosómico de un cromosoma se encuentra situado en otro cromosoma.

- **Mutaciones genómicas:** afecta a cromosomas completos (por exceso o por defecto) o a juegos cromosómicos completos **(Pierce 2009).**

### 2.2.15. Mutación y mejoramiento vegetal

Se refiere a los cambios en el ADN que pueden ser heredados y no causados por recombinación y son responsables de la variabilidad genética existente **(Salas, 2015).**

Para la inducción a mutaciones en plantas, ya sea con mutágenos químicos o físicos, se utilizan propágulos, ya sean semillas o esquejes, y tanto la dosis como la intensidad de la misma dependerán de la planta elegida para realizar las experimentaciones y si las mismas se realizaran in vitro o en el campo**.**

### 2.2.16. El ázida sódica

El ázida sódica ($NaN_3$) es un potente mutágeno químico en microorganismos y plantas, y levemente mutagénico en mamíferos y es ampliamente utilizado en el mejoramiento genético de cultivos en busca de variabilidad. Sus efectos son comparables a los agentes alquilantes.

El azida de sodio produce un rango muy bajo de aberraciones cromosómicas, en comparación con los mutágenos físicos es por esto que por lo general son los mutágenos químicos, que afectan directamente al ADN los que se utilizan a la hora de realizar estudios genómicos que buscan la comprensión del funcionamiento o localización de determinados genes dentro del genoma de la planta **(Gruszka 2012).**

## 2.3. Bases conceptuales

- ✓ **Control genético del trigo**

  La calidad tecnológica del grano de trigo depende en gran medida de su composición proteica. Los recientes avances de la biología molecular nos abren nuevas perspectivas en la manipulación genética de dicha composición.

- ✓ **La azida de sodio**

  Es uno de los más poderosos agentes mutagénicos químicos conocido. La mutación se da a través de la producción de un metabolito orgánico del compuesto de la azida; afectando diferentes partes de las plantas y su normal desarrollo, perturbando la actividad de metabolitos. Hay estudios ya realizados de inducción de mutación con azida sódica a semillas de *Triticum aestivum* L, y la característica deseada que se logró fue la tolerancia a sales.

## 2.4. Definición de términos.

- ✓ **Mutación.** es una modificación que se produce en los datos genéticos de un organismo viviente. Dicha alteración, que puede resultar hereditaria, implica una modificación de sus características.
- ✓ **Mutante.** El uso más habitual del concepto de mutante está asociado a los organismos que mutan debido a un cambio en su estructura o su composición.
- ✓ **Mutación inducida.** Son cambios aleatorios que se producen en el ADN de un organismo ocasionado por un agente mutagénico (mutágeno).
- ✓ **Genotipo.** Conjunto de los genes que existen en el núcleo celular de cada individuo.
- ✓ **Fenotipo.** es cualquier característica o rasgo observable de un organismo, como su morfología, desarrollo, propiedades bioquímicas, fisiología y comportamiento.
- ✓ **Azida sódica.** es un mutágeno químico que se encuentra dentro de los agentes alquilantes, y consistente en una sustancia química que donan

grupos alquilo o metilo a las bases nucleotídicas, produciendo transiciones y/o transversiones en la molécula de ADN.

- ✓ **Dosimetría.** Evaluación y medición de los cambios fenotípicos en las plantas ocasionadas por las dosis del mutágeno.

## 2.5. Hipótesis

**Ha:** Todas las dosis de azida de sodio aplicadas a las semillas de trigo, producirá cambios genéticos observables fenotípicamente.

**Ho:** No todas las dosis de azida de sodio aplicadas a las semillas de trigo, producirá cambios genéticos observables fenotípicamente.

## 2.6. Variables

✓ **Independiente**

Dosis de azida de sodio ($NaN_3$) ✓**Dependiente**

- Porcentaje de Germinación de semillas de trigo
- Altura de la plántula de trigo
- Porcentaje de emergencia del trigo
- Longitud de raíz de la plántula de trigo
- Diámetro de tallo de la plántula de trigo

## 2.7. Operacionalización de variables

**TABLA 2. Operacionalización de variables**

| Variable Independiente | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicador | Escala |
|---|---|---|---|---|---|
| **Dosis de azida de sodio ($NaN_3$)** | Es un efectivo agente Mutagénico del que es posible obtener una alta frecuencia de mutaciones con menor frecuencia de aberraciones cromosómicas. | Se remojaron las semillas de trigo en una solución por cada dosis por 1 hora. | mM | dosis | 0.0<br>0.5<br>1.0<br>1.5<br>2.0<br>2.5<br>3.0<br>3.5<br>Buffer |
| **Variable Dependiente (trigo)** | | | | | |
| LABORATORIO | Cantidad de | Se contó la | (%) | Muy | > 100 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| porcentaje de Germinación de semillas de trigo | semillas germinadas | cantidad de semillas germinadas y por regla de tres simples se calculará el porcentaje de semillas germinadas. | | bueno<br>bueno<br>malo | <br>50 – 95<br>< 50.00 |
| Altura de planta | Incremento constante en el tamaño de un organismo determinado por procesos de morfogénesis y diferenciación. | Se midió la altura de plantas desde el cuello de planta hasta el ápice. | cm | Alto<br>Medio<br>Bajo | > 20<br>10 – 19<br>< 10 |
| INVERNADERO<br>Porcentaje de emergencia | Es el logro de un adecuado número de plantas logradas al inicio del cultivo. | Se observó y se hizo el conteo | % | Muy bueno<br>bueno<br>malo | > 95.0<br>80 – 95<br>< 80.00 |
| Altura de planta | Incremento constante en el tamaño de un organismo determinado por procesos de morfogénesis y diferenciación. | Se midió la altura de plantas desde el cuello de planta hasta el ápice. | cm | Alto<br>Medio<br>Bajo | > 20<br>10 – 19<br>< 10 |
| Longitud de raíz | Referido a la longitud de la raíz principal de la plántula. | Se midió la longitud de la raíz, desde el cuello de plántula hasta el ápice terminal de la raíz. | cm | Muy largo<br>Largo<br>Mediano<br>Pequeño | > 25<br>20 – 25<br>15 – 20<br>< 15 |
| Diámetro de tallo | A medida que el cambium crece, el diámetro del tallo aumenta. | Se midió el diámetro del tallo de la planta. | mm | Grueso<br>Mediano<br>Delgado | > 3 mm<br>1–2 mm<br>< 1 mm |
| **Variable interviniente** | • Temperatura<br>• Humedad<br>• Altitud<br>• luminosidad | | | | |

FUENTE: elaboración propia (2019).

# CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

## 3.1. Ámbito temporal y espacial

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias Agrarias - "Común Era" en el laboratorio de biotecnología.

### 3.1.1 Ubicación política.

- ✓ Departamento : Huancavelica
- ✓ Provincia : Acobamba
- ✓ Distrito : Acobamba
- ✓ Lugar : Común Era

### 3.1.2. Ubicación geopolítica.

- ✓ Altitud : 3431 m.s.n.m.
- ✓ Latitud Sur : 12° 50' 26" de la Línea Ecuatorial.
- ✓ Longitud Oeste : 74° 34' 10" del Meridiano de Greenwich.

### 3.1.3 Condiciones climatológicas:

- ✓ Precipitación promedio anual : 700 mm
- ✓ Temperatura Promedio : 12 ºC
- ✓ Humedad relativa : 60 %

Fuente: SENAMHI

## 3.2. Tipo de investigación.

El presente Proyecto de Investigación es considerado de tipo experimental porque se caracteriza por su interés, utilización y consecuencia prácticos de los conocimientos ya descritos o planteados busca el conocer para hacer, actuar, construir y/o para modificar los hechos.

## 3.3. Nivel de investigación.

El trabajo de investigación es considerado de tipo experimental. Dado el nivel de conocimiento a obtener, de nivel básico **(Carrasco 2013).**

## 3.4. Población, Muestra, Muestreo

**A. Población**. Estuvo constituida por 400 plántulas de trigo por cada dosis de azida de sodio.

**B. Muestra.** Para la evaluación de las variables se utilizó 10 plántulas por cada tratamiento en cada unidad experimental.

**C. Muestreo**. Para la selección de plántulas se utilizó el muestreo aleatorio simple.

## 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En base a la observación estructurada o formalizada, se utilizó entre otros instrumentos, regla de precisión, termómetro, etc. Los datos que integran los parámetros de laboratorio e invernadero, se recopilaron a lo largo de la fenología del cultivo, en diez plantas de cada unidad experimental.

**TABLA 3. Recolección de datos**

| Variable | Técnica | Instrumento |
|---|---|---|
| **Laboratorio** | | |
| Porcentaje de germinación | Observación | Conteo de las semillas |
| Altura de planta | Observación | -regla de 30 cm<br>-cinta métrica |
| **Invernadero** | | |
| Porcentaje de emergencia | Observación | Conteo de las semillas |
| Altura de planta | Observación | -cinta métrica<br>-regla de 30 cm |
| Longitud de raíz | Observación | -regla de 30 cm<br>-Cinta métrica |
| Diámetro de tallo | Observación | -Vernier |

### 3.5.1. Procedimiento

- **<u>En laboratorio</u>**

  **Porcentaje de germinación (%).** Se calculó mediante un conteo simple de semillas que muestren epicotilo y radícula a los 3, 7, 11 días post siembra.

  **Altura de planta (cm).** Se midió la altura en 10 plántulas tomadas al azar de cada placa Petri a los 11 días después de la siembra.

- **<u>En Invernadero</u>**

  **Porcentaje de emergencia (%).** Se calculó en base a un conteo simple de presencia de cotiledones abiertos o no.

  **Altura de planta (cm).** En la parte aérea, se midió la altura en 10 plántulas, tomadas al azar de cada macetero, con una frecuencia de 10 días hasta los 18 días después de la siembra. Los resultados se expresarán en promedio.

  **Longitud de raíz (cm).** A los 18 días después de la siembra, se midió el tamaño de las raíces en 10 plántulas tomadas al azar de cada macetero, para lo cual serán desprendidos del macetero. Los resultados se expresaron en promedio.

  **Diámetro de tallo (mm).** A los 18 días después de la siembra, se midió el diámetro del tallo en 10 plántulas tomadas al azar de cada macetero, para lo cual serán desprendidos del macetero. Los resultados se expresaron en promedio.

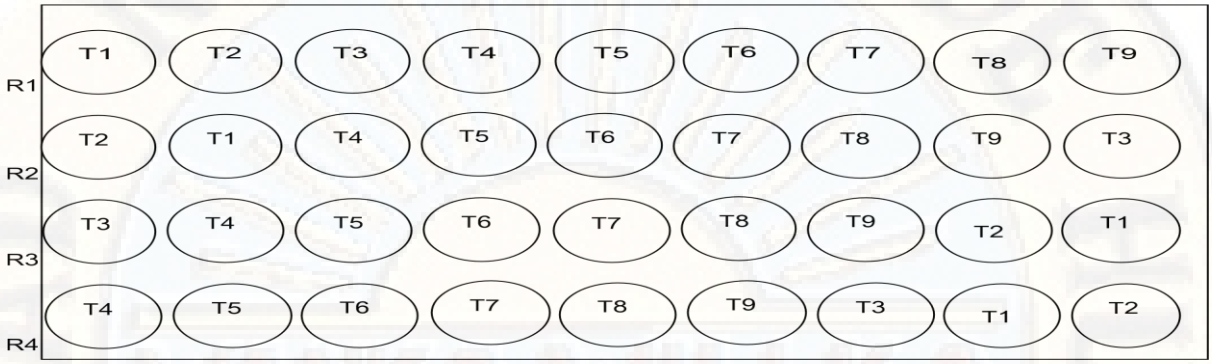
  **Material vegetal. –** Estuvo constituido por semilla botánica de trigo (*Triticum aestivum* L) var "gavilán".

  **Dosimetría. -** Para la determinación de la Dosis Letal Media DL-50 fue necesario utilizar siete dosis del agente químico (azida de sodio), se aplicó en el laboratorio de semillas del Programa de cereales y granos nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

  **Dosis y agente mutagénicos. -** Para la inducción de mutaciones se utilizó la azida de sodio a las dosis de 0.0 mM; (T1) 0.5 mM,

(T2) 1.0 mM, (T3) 1.5 mM, (T4) 2.0 mM, (T5) 2.5 mM, (T6) 3.0 mM; (T7) 3.5 mM; (T8) buffer mM y (T9) testigo. Las semillas se remojo por una hora.

### 3.5.2. Croquis experimental




### 3.5.3. Tratamientos

**TABLA 4. Tratamientos**

| TRAT | CARACTERÍSTICA | DOSIS |
|---|---|---|
| T1 | Remojado en azida de sodio | 0.5 mM |
| T2 | Remojado en azida de sodio | 1.0 mM |
| T3 | Remojado en azida de sodio | 1.5 mM |
| T4 | Remojado en azida de sodio | 2.0 mM |
| T5 | Remojado en azida de sodio | 2.5 mM |
| T6 | Remojado en azida de sodio | 3.0 mM |
| T7 | Remojado en azida de sodio | 3.5 mM |
| T8 | Solución buffer | 600 ml |
| T9 | Agua destilada | 800 ml |

### 3.5.4. Pasos de la investigación

**Paso N° 1 desinfección de materiales y área de trabajo.**

Se realizó la limpieza correspondiente del área de trabajo, materiales de vidrio y equipos, se utilizó lejía, alcohol, detergente y entre otros esto se

realizó en laboratorio. En invernadero se realizó limpieza, nivelación del área, utilizando pico, pala, mantada.

**Paso N° 2 pesado de semillas de trigo.**

Se realizó el pesado de las semillas de trigo 9 muestras cada una con 300g en la balanza digital, luego se vació a un costalillo fabricado de tela tul para su respectivo tratamiento.

**Paso N° 3 preparaciones de la solución azida de sodio y buffer.**

Se realizó las respectivas medidas de cuidado en la utilización de azida de sodio, buffer y materiales como pipeta, piceta, probeta y potes de plástico obteniendo 9 diferentes dosis para el remojado de las semillas de trigo.

**Paso N° 4 Remojado y conteo de las semillas de trigo.**

En la **s**olución preparada con azida de sodio y buffer se sumergió los costalillos de trigo de 300g a cada pote para el remojo de las semillas en las diferentes dosis durante una hora, pasada la hora sacamos los costalillos de cada pote para el secado de 10 minutos luego el conteo de 100 semillas para cada placa Petri teniendo en cuenta las 9 diferentes dosis y las 4 repeticiones teniendo un total de 36 placas Petri sembradas para las respectivas evaluaciones.

**Paso N° 5 Sembrado de las semillas en invernadero**

La preparación para el sembrado fue en un vaso modelo Aruba con vermiculita en cada vaso se sembró una semilla para las respectivas evaluaciones.

**Paso N° 6 Evaluaciones del desarrollo de las semillas**

En el laboratorio se empezó a evaluar a partir del tercer día después de la siembra, en el área de invernadero se empezó a evaluar a partir de los 11 días después de la siembra.

## 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Las variables evaluadas al final del trabajo, se sometieron a un análisis descriptivo e inferencial a través del análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de tukey ($P \leq 0,05$), utilizando el paquete estadístico MINITAB versión 17

# CAPÍTULO IV

# PRESENTACION DE RESULTADOS

## 4.1. Análisis de Información

### 4.1.1. Porcentaje de germinación a los 3 dds

**Cuadro 1:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 3 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 5.10351 | 0.637938 | 938.66 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 0.01835 | 0.000680 | | | |
| Total | 35 | 5.12186 | | | | |

C.V. (%) = 9.89 S=0.0261 X=0.2639

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 9.89 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

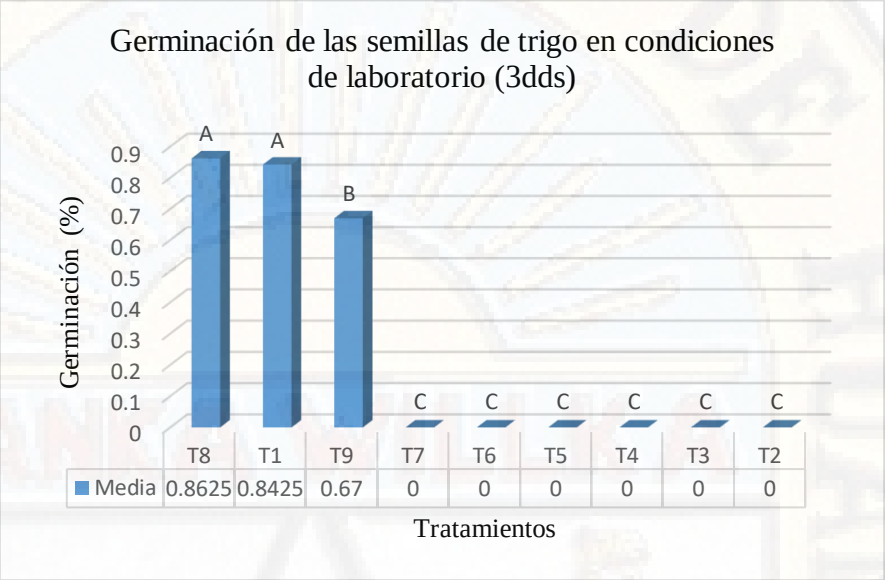
De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 938.66 y el P. valúe de 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento influye de manera relevante en el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1%.

**Tabla 5:** Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en Condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 3 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T8 | 0.8625 | A | | |
| 2 | T1 | 0.8425 | A | | |
| 3 | T9 | 0.6700 | | B | |
| 4 | T7 | 0.000000 | | | C |
| 5 | T6 | 0.000000 | | | C |
| 6 | T5 | 0.000000 | | | C |
| 7 | T4 | 0.000000 | | | C |
| 8 | T3 | 0.000000 | | | C |
| 9 | T2 | 0.000000 | | | C |

Según la prueba de Tukey (Tabla 5), el tratamiento T8 (Buffer), obtuvo el mayor porcentaje de germinación con un valor promedio de 0.8625 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (A). Por otro lado, el testigo (T9) presenta el menor porcentaje de germinación con el 0.6700 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (B). Cabe señalar que T8 (Buffer) y T1 (0.5 Azida de sodio) no presentan diferencia significativa entre sí. Además, T9 (Control) presenta diferencia significativa entre T8 y T1 respectivamente. Además, los tratamientos T2, T3, T4, T5, T6 y T7 no mostraron respuesta a las diferentes dosis de Azida sódica, considerándolos en el agrupamiento C, a los 3 dds.

**Gráfico 1**. Germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (3 dds).




### 4.1.2. Porcentaje de germinación a los 7 dds

**Cuadro 2:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 7 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 6.50155 | 0.812694 | 2303.70 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 0.00953 | 0.000353 | | | |
| Total | 35 | 6.51107 | | | | |

C.V. (%) = 4.18 S= 0.0187 X= 0.4475

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 4.18 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 2303.70 y el P. value es 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento

influye de manera relevante en el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1%.

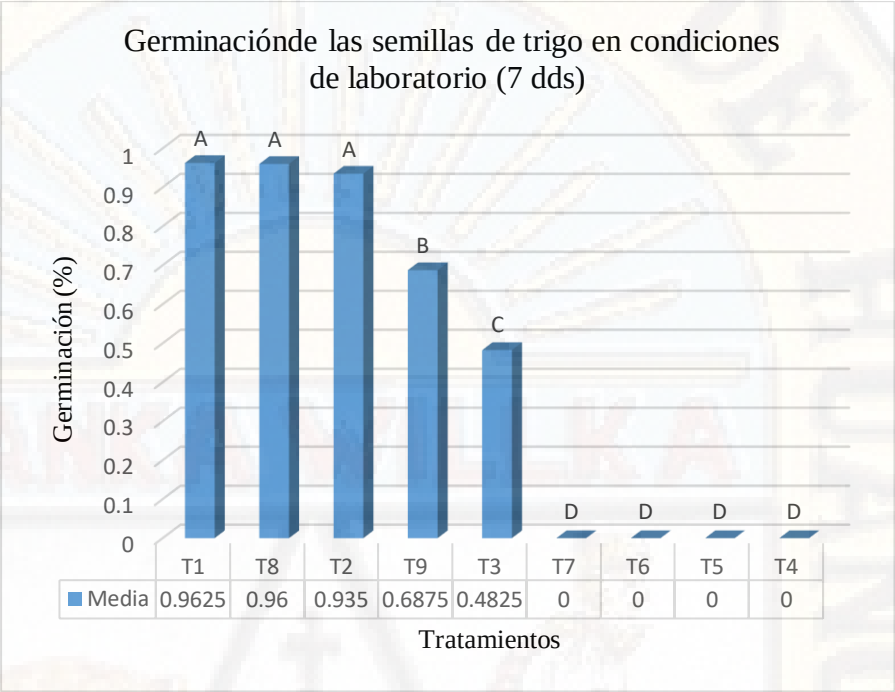
**Tabla 6:** Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 7 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T1 | 0.96250 | A | | |
| 2 | T8 | 0.96000 | A | | |
| 3 | T2 | 0.9350 | A | | |
| 4 | T9 | 0.6875 | | B | |
| 5 | T3 | 0.4825 | | | C |
| 6 | T7 | 0.000000 | | | D |
| 7 | T6 | 0.000000 | | | D |
| 8 | T5 | 0.000000 | | | D |
| 9 | T4 | 0.000000 | | | D |

Según la prueba de Tukey (Tabla 6), el tratamiento T1 (0.5 Azida de sodio), obtuvo el mayor valor para el porcentaje de germinación con un valor promedio del 96 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (A). Por otro lado, el tratamiento (T3) presenta el menor valor para el porcentaje de germinación con un valor promedio del 48 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (C). Además, T1 no presenta diferencia significativa entre T8 y T2. Pero si existe diferencia significativa entre T9 y T3 con respecto a T1, T2 y T8 respectivamente.

Además, los tratamientos T4, T5, T6 y T7 no mostraron respuesta a las diferentes dosis de Azida sódica, considerándolos en el agrupamiento D, a los 7 dds.

**Gráfico 2**. Germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (7 dds).




### 4.1.3. Porcentaje de germinación a los 11 dds

**Cuadro 3:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 0.30495 | 0.038119 | 14.00 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 0.07353 | 0.002723 | | | |
| Total | 35 | 0.37847 | | | | |

C.V. (%) = 5.96 S= 0.0522 X=0.8758

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 5.96 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 14.00 y el P valúe es 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento influye de manera relevante en el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1 %.

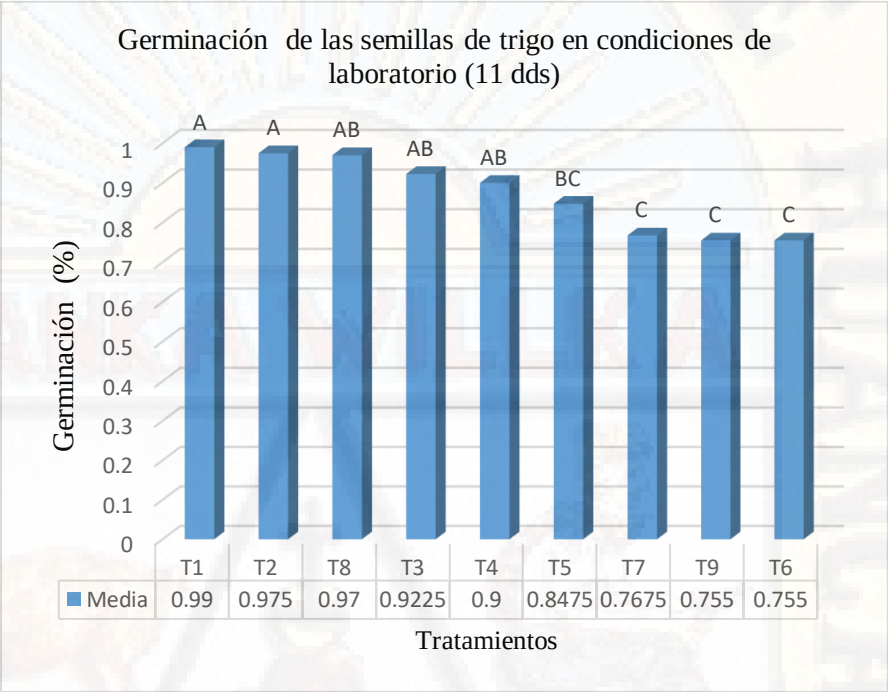
**Tabla 7:** Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T1 | 0.99000 | A | | |
| 2 | T2 | 0.9750 | A | | |
| 3 | T8 | 0.97000 | A | B | |
| 4 | T3 | 0.9225 | A | B | |
| 5 | T4 | 0.90000 | A | B | |
| 6 | T5 | 0.8475 | | B | C |
| 7 | T7 | 0.7675 | | | C |
| 8 | T9 | 0.7550 | | | C |
| 9 | T6 | 0.7550 | | | C |

Según la prueba de Tukey (Tabla 7), el tratamiento T1 (0.5 Azida de sodio), obtuvo el mayor valor para el porcentaje de germinación con un valor promedio del 99 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (A). Además, entre los tratamientos T1 y T2 no existe diferencia significativa. De igual modo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos T7, T9 y T6, por lo que se les considero en el mismo agrupamiento (C). Y entre los tratamientos T8, T4 y T3 no existe diferencia significativa entre sí y con respecto a T1 y T2. Por otro lado, el tratamiento (T6) presenta el menor valor para el porcentaje de germinación con un valor promedio del 76 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (C). Finalmente, entre

los tratamientos T1, T8, T5 y T7 si existe diferencia significativa respectivamente.

**Gráfico 3**. Germinación de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (11 dds).




### 4.1.4. Emergencia a los 10 dds

**Cuadro 4:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 10 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 0.6300 | 0.078750 | 11.81 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 0.1800 | 0.006667 | | | |
| Total | 35 | 0.8100 | | | | |

C.V. (%) = 10.42 S=0.0816 X=0.7833

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 10.42 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

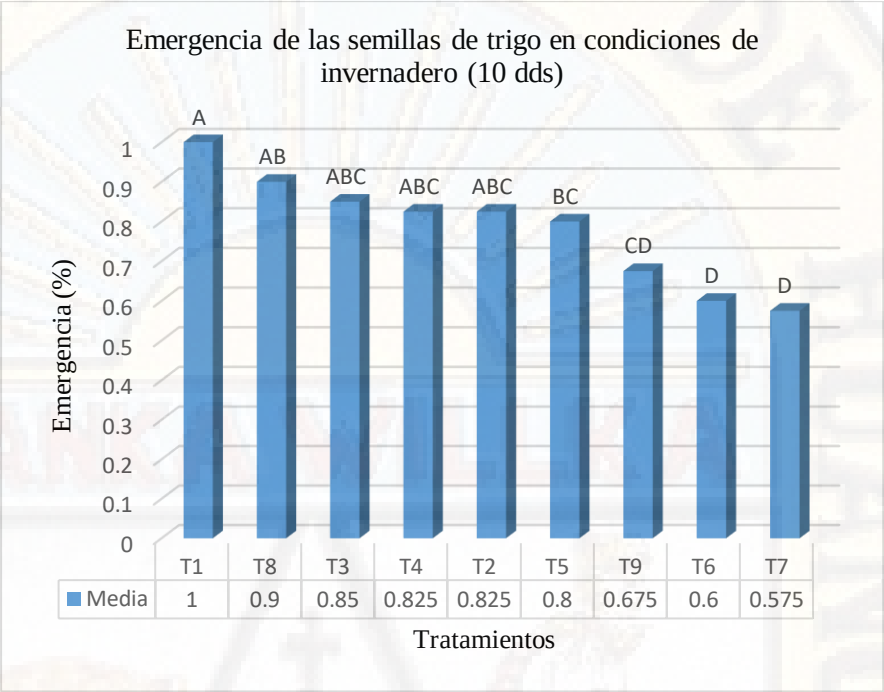
De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 11.81 y el P. valúe es 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento influye de manera relevante en el porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1%.

**Tabla 8:** Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 10 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T1 | 1.000 | A | | | |
| 2 | T8 | 0.9000 | A | B | | |
| 3 | T3 | 0.8500 | A | B | C | |
| 4 | T4 | 0.8250 | A | B | C | |
| 5 | T2 | 0.8250 | A | B | C | |
| 6 | T5 | 0.8000 | | B | C | |
| 7 | T9 | 0.6750 | | | C | D |
| 8 | T6 | 0.6000 | | | | D |
| 9 | T7 | 0.5750 | | | | D |

Según la prueba de Tukey (Tabla 8), el tratamiento T1 (0.5 Azida de sodio), obtuvo el mayor porcentaje de emergencia con un valor promedio del 100 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (A). Por otro lado, el tratamiento T7 (3.5 Azida de sodio) presenta el menor porcentaje de emergencia con un valor promedio de 58 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (D). Cabe señalar que T3, T4 y T2 no presentan diferencia significativa entre sí. Además, T9, T1, T5, T6 y T7 presentan diferencia significativa respectivamente.

**Gráfico 4**. Emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (10 dds).




### 4.1.5. Emergencia a los 18 dds

**Cuadro 5:** Análisis de varianza (ANVA) del porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 0.3800 | 0.047500 | 10.06 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 0.1275 | 0.004722 | | | |
| Total | 35 | 0.5075 | | | | |

C.V. (%) = 8.16 S= 0.0687 X=0.8417

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 8.16 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

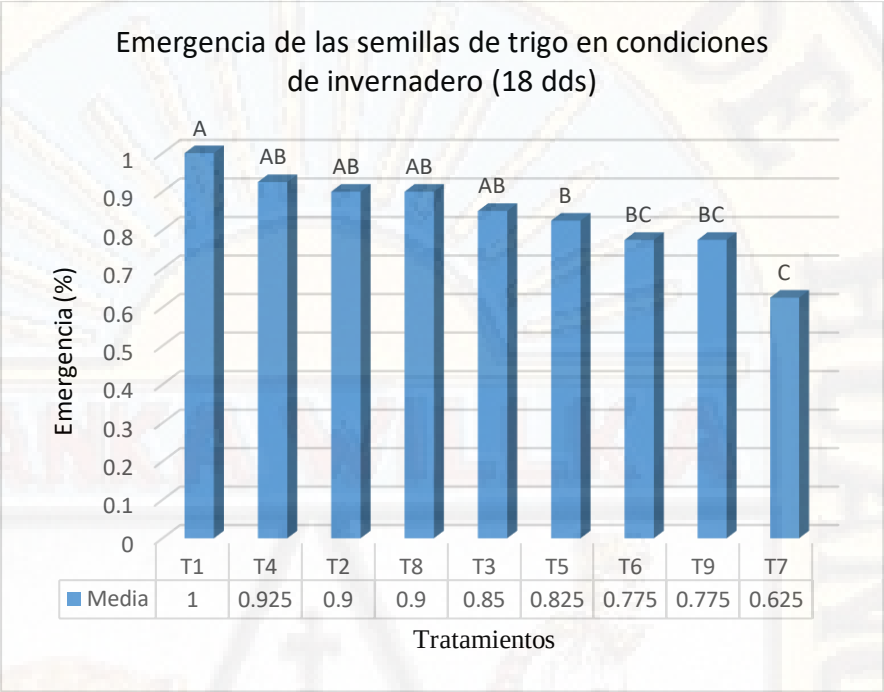
De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 10.06 y el P. value es 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento influye de manera relevante en el porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1%.

**Tabla 9:** Prueba de Tukey para el porcentaje de emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T1 | 1.000 | A | | |
| 2 | T4 | 0.9250 | A | B | |
| 3 | T2 | 0.9000 | A | B | |
| 4 | T8 | 0.9000 | A | B | |
| 5 | T3 | 0.8500 | A | B | |
| 6 | T5 | 0.8250 | | B | |
| 7 | T6 | 0.7750 | | B | C |
| 8 | T9 | 0.7750 | | B | C |
| 9 | T7 | 0.6250 | | | C |

Según la prueba de Tukey (Tabla 9), el tratamiento T1 (0.5 Azida de sodio), obtuvo el mayor porcentaje de emergencia con un valor promedio del 100 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (A). Por otro lado, el tratamiento T7 (3.5 Azida de sodio) presenta el menor porcentaje de emergencia con un valor promedio de 63 %, por lo que se le considero en el agrupamiento (C). Cabe señalar que T4, T2, T8, T3 no presentan diferencia significativa entre sí. Además, T1, T4, T5, T6 y T7 presentan diferencia significativa respectivamente.

**Gráfico 5**. Emergencia de las semillas de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds).




### 4.1.6. Altura de la planta a los 11 dds

**Cuadro 6:** Análisis de varianza (ANVA) para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 413.99 | 51.7492 | 120.19 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 11.63 | 0.4306 | | | |
| Total | 35 | 425.62 | | | | |

C.V. (%) = 6.03 S=0.656 X=10.874

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 6.03 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 120.19 y el P. valúe es 0.000, lo que indica que los

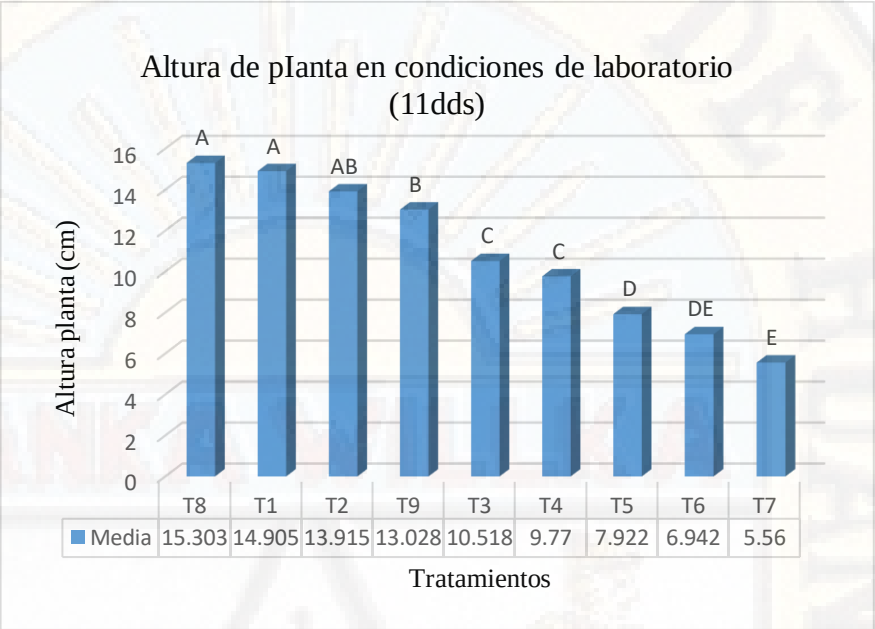
tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento influye de manera relevante en la altura de la planta de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel de significación del 1%.

**Tabla 10:** Prueba de Tukey para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (α= 0.01), a los 11 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T8 | 15.303 | A | | | | |
| 2 | T1 | 14.905 | A | | | | |
| 3 | T2 | 13.915 | A | B | | | |
| 4 | T9 | 13.028 | | B | | | |
| 5 | T3 | 10.518 | | | C | | |
| 6 | T4 | 9.770 | | | C | | |
| 7 | T5 | 7.922 | | | | D | |
| 8 | T6 | 6.942 | | | | D | E |
| 9 | T7 | 5.560 | | | | | E |

Según la prueba de Tukey (Tabla 10), los tratamientos T8 y T1 no presenta diferencia significativa entre sí, pero presentaron los mayores valores para altura de la planta, por lo que se les considero en el agrupamiento (A). El tratamiento T8 (Buffer) obtuvo el mayor valor en promedio para la altura de la planta (15.30 cm). Por otro lado, el tratamiento T7 (3.5 Azida de sodio) presenta la menor altura de la planta con un valor promedio de 5.56 cm, por lo que se le considero en el agrupamiento (E). Cabe señalar que T2 (1.0 Azida de sodio) no presentan diferencia significativa con respecto a T8, T1 y T9 (Control), de igual modo el tratamiento T6 (3.0 Azida de sodio) no presentan diferencia significativa con respecto a T5, T7 (3.5 Azida de sodio). Además, entre los tratamientos T3 (1.5 Azida de sodio) y T4 (2.0 Azida de sodio) tampoco existe diferencia significativa entre sí. Por otro lado, si existe diferencia significativa entre los tratamientos T8, T1, T3, T4, T5 y T7 con respecto a T9.

**Gráfico 6**. Altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de laboratorio (11 dds).




### 4.1.7. Altura de la planta a los 18 dds

**Cuadro 7:** Análisis de varianza (ANVA) para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 84.34 | 10.5424 | 24.30 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 11.71 | 0.4338 | | | |
| Total | 35 | 96.05 | | | | |

C.V. (%) = 5.87 S=0.6586 X=11.212

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 5.87 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 24.30 y el P. evalúe es 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento

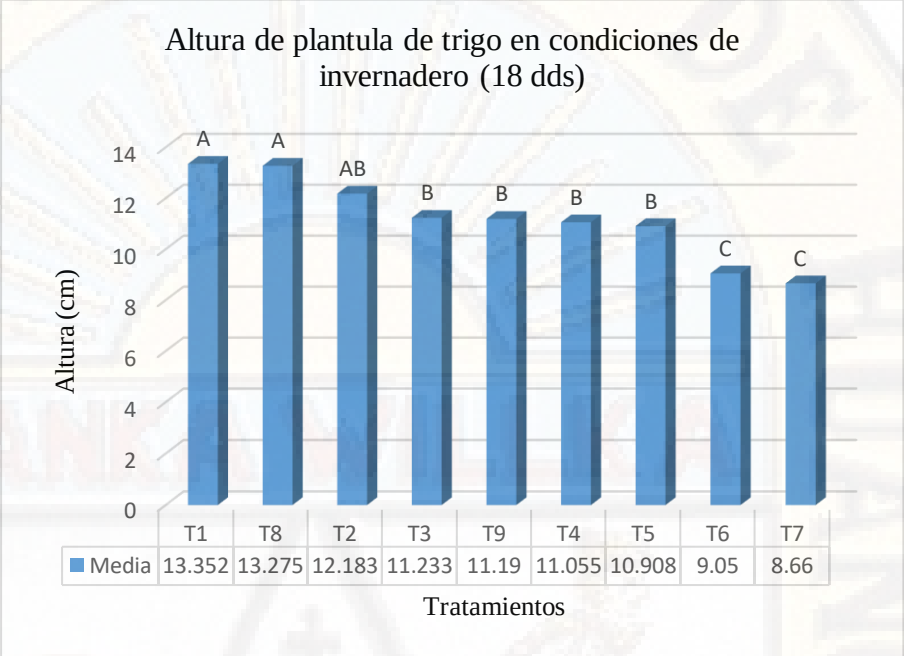
influye de manera relevante en la altura de la planta de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1%.

**Tabla 11:** Prueba de Tukey para la altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de Invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T1 | 13.352 | A | | |
| 2 | T8 | 13.275 | A | | |
| 3 | T2 | 12.183 | A | B | |
| 4 | T3 | 11.233 | | B | |
| 5 | T9 | 11.190 | | B | |
| 6 | T4 | 11.055 | | B | |
| 7 | T5 | 10.908 | | B | |
| 8 | T6 | 9.0500 | | | C |
| 9 | T7 | 8.660 | | | C |

Según la prueba de Tukey (Tabla 11), los tratamientos T8 y T1 no presenta diferencia significativa entre sí, pero presentaron los mayores valores para altura de la planta, por lo que se les considero en el agrupamiento (A). El tratamiento T1 (0.5 Azida de sodio) obtuvo el mayor valor en promedio para la altura de la planta (13.35 cm). Por otro lado, los tratamientos T6 y T7 presentan los menores valores para la altura de la planta, por lo que se les considero en el agrupamiento (C). El tratamiento T7 (3.5 Azida de sodio) obtuvo el menor valor en promedio para la altura de la planta (8.66 cm). Cabe señalar que entre los tratamientos: T3, T9, T4 y T5 no existe diferencia significativa, por estar en el mismo agrupamiento (B). De igual manera el tratamiento T2 (1.0 Azida de sodio), no presenta diferencia significativa con los tratamientos: T9, T8, T1, T3, T4 y T5, respectivamente. Pero si existe diferencia significativa entre T9, T8, T1, T3, T4, T5, T6 y T7, respectivamente.

**Gráfico 7**. Altura de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds).




### 4.1.8. Longitud de la raíz a los 18 dds

**Cuadro 8:** Análisis de varianza (ANVA) para la longitud de la raíz de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 260.88 | 32.610 | 19.96 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 44.11 | 1.634 | | | |
| Total | 35 | 304.99 | | | | |

C.V. (%) = 7.51 S=1.278 X=17.016

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 7.51 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 19.96 y el P. evalúe es 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento

influye de manera relevante en la longitud de la raíz de la planta de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1%.

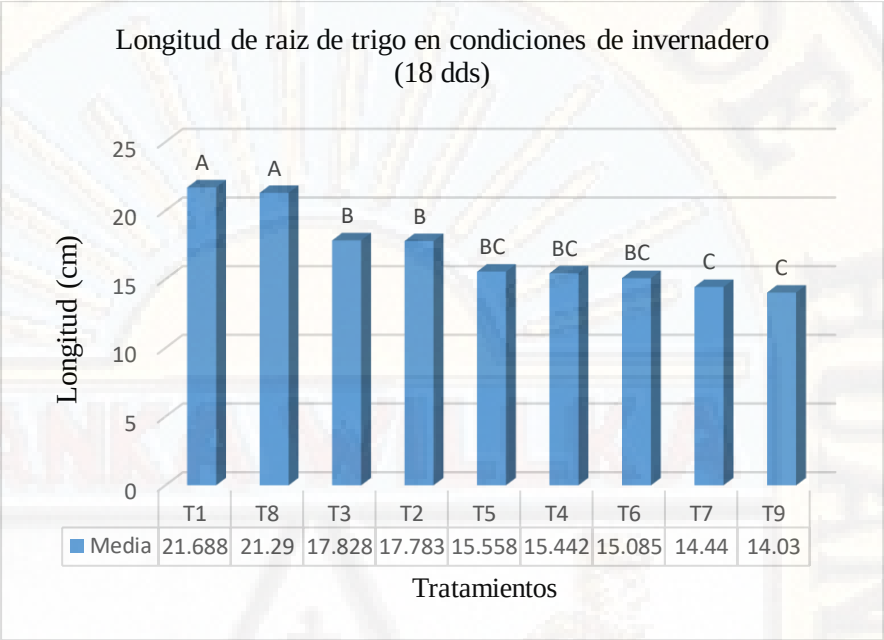
**Tabla 12:** Prueba de Tukey para la longitud de la raíz de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T1 | 21.688 | A | | |
| 2 | T8 | 21.290 | A | | |
| 3 | T3 | 17.828 | | B | |
| 4 | T2 | 17.783 | | B | |
| 5 | T5 | 15.558 | | B | C |
| 6 | T4 | 15.442 | | B | C |
| 7 | T6 | 15.085 | | B | C |
| 8 | T7 | 14.440 | | | C |
| 9 | T9 | 14.030 | | | C |

Según la prueba de Tukey (Tabla 12), el tratamiento T1 (0.5 Azida de sodio), obtuvo la mayor longitud de raíz con un valor promedio de 21.69 cm, por lo que se le considero en el agrupamiento (A). Por otro lado, el testigo (T9) presenta la menor longitud de raíz con un valor promedio de 14.03 cm, por lo que se le considero en el agrupamiento (C). Cabe señalar que T4, T5 y T6 no presentan diferencia significativa con respecto a T2, T3, T7 y T9. Por otro lado, no existe diferencia significativa entre los tratamientos T8, T1 y T3, por lo que se les considero en el mismo agrupamiento (A), de igual manera sucede entre T2 y T3, del agrupamiento (B) y entre los tratamientos T9 y T7, del agrupamiento (C).

Además, existe diferencia significativa entre T8, T1, T2, T3, T7 y T9, respectivamente.

**Gráfico 8**. Longitud de la raíz de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds).




### 4.1.9. Diámetro del tallo de la planta a los 18 dds

**Cuadro 9:** Análisis de varianza (ANVA) para el diámetro del tallo de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| Fuente | GL | SC | CM | Valor F | Valor p | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | 8 | 0.59439 | 0.074299 | 59.00 | 0.000 | ** |
| Error | 27 | 0.03400 | 0.001259 | | | |
| Total | 35 | 0.62839 | | | | |

C.V. (%) = 2.1 S= 0.0354 X=1.6906

** = Significación al nivel de α = 0.01

Su coeficiente de variabilidad es de 2.1 %, lo que indica que la homogeneidad del material experimental utilizado es aceptable, por lo tanto, los datos experimentales son confiables.

De acuerdo al resultado obtenido podemos apreciar el rendimiento del valor F es 59 y el P. value es 0.000, lo que indica que los tratamientos son altamente significativos. El tipo de tratamiento

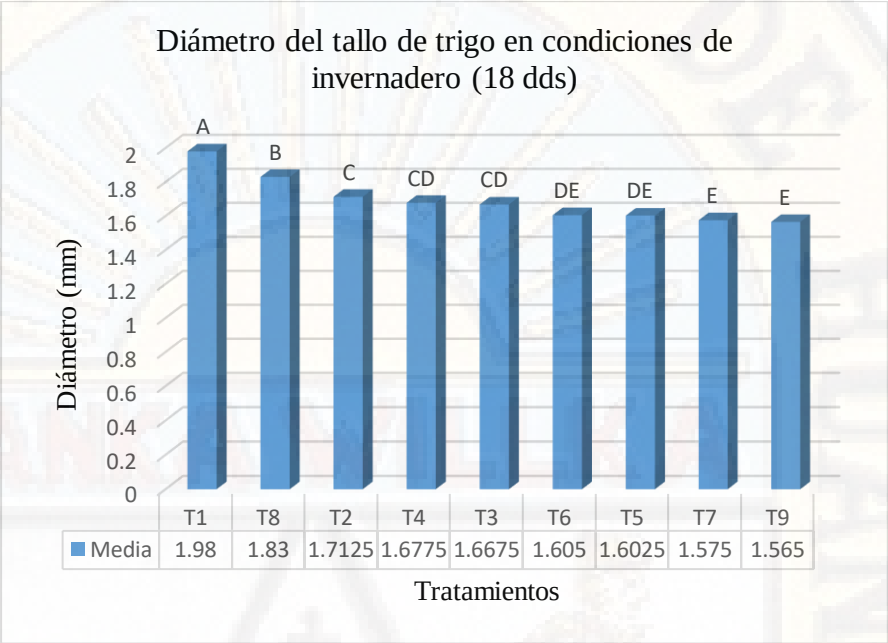
influye de manera relevante en el diámetro del tallo de la planta de trigo, para lo cual se realizó la prueba de Tukey a nivel se significación del 1%.

**Tabla 13:** Prueba de Tukey para el diámetro del tallo de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (α= 0.01), a los 18 dds.

| O.M | Tratamientos | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T1 | 1.9800 | A | | |
| 2 | T8 | 1.8300 | | B | |
| 3 | T2 | 1.7125 | | C | |
| 4 | T4 | 1.6775 | | C | D |
| 5 | T3 | 1.66750 | | C | D |
| 6 | T6 | 1.6050 | | | D E |
| 7 | T5 | 1.6025 | | | D E |
| 8 | T7 | 1.5750 | | | E |
| 9 | T9 | 1.5650 | | | E |

Según la prueba de Tukey (Tabla 13), el tratamiento T1 (0.5 Azida de sodio), obtuvo el mayor valor para el diámetro del tallo de la planta de trigo, obteniéndose un valor promedio de 1.98 mm, por lo que se le considero en el agrupamiento (A). Por otro lado, el testigo (T9) presenta el menor valor para el diámetro del tallo de la planta de trigo con un valor promedio de 1.56 mm, por lo que se le considero en el agrupamiento (E). Cabe señalar que T3 y T4 no presentan diferencia significativa con respecto a T2, T5 y T6. Además, tampoco existe diferencia significativa entre T5 y T6, con respecto a T9 y T7. De igual manera entre T9 y T7 no existe diferencia significativa por considerarlos en el mismo agrupamiento (E). Por último, existe diferencia significativa entre T8, T1, T2, T3, T5, T6 y T9, respectivamente.

**Gráfico 9**. Diámetro del tallo de la planta de trigo, con diferentes concentraciones de azida de sodio, en condiciones de invernadero (18 dds).




## 4.2. Prueba de hipótesis

Con la aplicación de las diferentes dosis del agente mutagénico azida de sodio a las semillas de trigo, no influyo en todos los tratamientos, no mostrándose cambios genéticos observables fenotípicamente para las variables, porcentaje de emergencia y geminación, altura de planta, longitud de raíz, diámetro de tallo. Discrepando con la afirmación de la $H_a$.

## 4.3. Discusión de resultados

### 4.3.1. Germinación

Esta variable fue medida en tres tiempos, a los 3, 7 y 11 días después de sembrar la semilla en placas Petri. En el cuadro 1, 2 y 3 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de siete dosis de Azida de sodio, uno de buffer y testigo en el porcentaje de germinación. Se puede apreciar que para los tratamientos si hubo diferencias altamente significativas. El Coeficiente de Variación fue de 9.89 %, 4.18 % y 5.96 %. En la Tabla 5, 6 y 7 se presentan los valores medios de germinación y la

prueba de Tukey muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos con aplicaciones (Azida de sodio y buffer) y el testigo. Se puede apreciar que el porcentaje de germinación varió de 48 a 99%, observándose una disminución del porcentaje de germinación con el incremento de la dosis.

Resultados similares fueron reportados por Carrillo (2017), quién encontró diferencias altamente significativas para la germinación y dosis de Azida de sodio en sésamo. También se desprende, que conforme se incrementaron las dosis de Azida de sodio, disminuye el porcentaje de germinación de las semillas de trigo.

### 4.3.2. Emergencia

Esta variable fue medida en dos tiempos, a los 10 y 18 días después de sembrar la semilla en macetas. En el cuadro 4 y 5 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de siete dosis de Azida de sodio y uno de buffer en el porcentaje de emergencia. Se puede apreciar que para los tratamientos si hubo diferencias altamente significativas. El Coeficiente de Variación fue de 10.42 % y 8.16 %. En la Tabla 8 y 9 se presentan los valores medios de germinación y la prueba de Tukey muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos con aplicaciones (Azida de sodio y buffer) y el testigo. Se puede apreciar que el porcentaje de emergencia varió de 58 a 100%, observándose una disminución del porcentaje de emergencia con el incremento de la dosis.

Resultados similares fueron reportados por Carrillo (2017), quién encontró diferencias altamente significativas para la germinación y dosis de Azida de sodio en sésamo. También se desprende, que conforme se incrementaron las dosis de Azida de sodio, disminuye el porcentaje de emergencia de las semillas de trigo.

### 4.3.3. Altura de planta

Las semillas presentaron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en las diferentes fechas de evaluación. Resultados

similares fueron reportados por **Carrillo (2017),** quién encontró diferencias altamente significativas para las semillas de sésamo y diversas dosis de agentes mutagénicos. También se desprende, que conforme se incrementaron las dosis de Azida sódica, disminuyeron la altura de las plantas. Así, en promedio la mayor altura de plantas de Trigo, en T8 (15.30 cm), seguido del tratamiento T1 (0.5 Azida sódica) con (14.91 cm) (Tabla 10), se obtuvo a los 11 días después de la siembra, en condiciones de laboratorio. Mientras que en condiciones de invernadero la mayor altura en las plantas de Trigo, se obtuvieron en T1 (13.35 cm) y T8 (13.28 cm) a los 18 días posteriores a la siembra (Tabla 11). Por lo que para ambas condiciones de siembra se puede inferir que el mejor tratamiento fue el tratamiento T1 (0.5 Azida sódica). Contrariamente, y para ambos periodos, la menor altura se obtuvo con las semillas que fueron tratados con el agente mutagénico (3.5 Azida sódico), obteniéndose 5.56 y 8.66 cm para los 11 y 18 días posteriores a la siembra. Contrariamente, y para el mismo periodo, la menor altura se obtuvo con semillas de trigo que fueron tratados con el agente mutagénico con dosis superiores a 2.0 Azida sódica, es decir en los tratamientos: T4 (9.77 cm), T5 (7.92 cm), T6 (6.94 cm) y T7 (5.56 cm), quienes presentan valores inferiores a los 10 cm considerándolos según la escala como Bajo (Ver Cuadro 2.7 Definición operativa de variables e indicadores).

### 4.3.4. Longitud de raíces

Durante los primeros 18 días de desarrollo, a partir de las semillas de trigo remojadas con el agente mutagénico emergieron las raíces. Desde el momento en que empezó a formarse la radícula, se apreció que las semillas que fueron tratados con la mayor dosis del agente mutagénico (Azida de sodio) tenían un crecimiento más lento que aquellas tratadas con las menores dosis. Esta tendencia se mantuvo hasta los 18 días pos siembra, en el cual se encontró diferencias significativas para la longitud de raíces (Tabla 12). Resultados

similares fue reportado por Salas (2015), quien encontró diferencias estadísticas significativas en la interacción entre el agente mutágeno y la longitud radicular de las plantas de Salvia.

Partiendo de la suposición de que a mayor longitud de raíz habrá mayor prendimiento y anclaje de la semilla del trigo, se deduce que el tratamiento de semillas de Trigo con 0.5 Azida sódico y Buffer son los más apropiados, y considerándolos según la escala como de longitud mediana (entre 15 a 20 cm), obteniendo 21.69 y 21.29 cm y teniendo en cuenta que no existen diferencias estadísticas significativas en longitud de raíz con los tratamientos de T2 (1.0 Azida sódica) y T3 (1.5 Azida sódica), T4 (2.0 Azida sódica), T5 (2.5 Azida sódica) y T6(3.0 Azida sódica), y finalmente entre T7 (3.5 Azida sódica) y T9 (control), respectivamente (Tabla 12).

### 4.3.5. Diámetro del tallo

Para los 18 días de evaluación pos siembra se encontró diferencias estadísticas significativas en el análisis de varianza del diámetro del tallo por efecto de las concentraciones de Azida sódica (cuadro 9). Obteniendo el mayor diámetro del tallo en promedio a la dosis de 0.5 Azida sódica y Buffer con 1.98 y 1.83 mm, respectivamente. Contrariamente, se obtuvo el menor diámetro del tallo en el control T9, con 1.57 mm (Tabla 13). También se puede deducir que conforme se incrementa la dosis del agente mutagénico (Azida sódica), disminuye el diámetro del tallo de la planta de trigo; sin embargo, a la dosis de 3.5 Azida sódico (T7) y control (T9), no existe diferencias significativas.

El coeficiente de variación (2,1 %), indica que los datos obtenidos son confiables y que hubo un buen manejo en las unidades experimentales (cuadro 9).

# CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y finalizando el trabajo de investigación se concluye que:

- Se encontró diferencias significativas en la germinación, es decir, las semillas de trigo presentaron diferencias significativas en las diferentes fechas de evaluación. En promedio el mayor porcentaje de germinación de plantas de Trigo (99 %) se obtuvo a los 11 días después de la siembra, en semillas tratados a la dosis de 0.5 Azida sódico del agente mutagénico. Contrariamente, y para el mismo periodo, el menor porcentaje de germinación se obtuvo con las semillas que fueron tratados con dosis mayores a 2.0 Azida sódico (90 %). Los coeficientes de variación nos indican que los errores experimentales fueron controlados satisfactoriamente.
- Para la emergencia, las semillas de trigo presentaron diferencias significativas en las diferentes fechas de evaluación. En promedio el mayor porcentaje de emergencia de plantas de Trigo (100 %) se obtuvo a los 10 y 18 días después de la siembra, en semillas tratados a la dosis de 0.5 Azida de sodio del agente mutagénico. Contrariamente, y para el mismo periodo, el menor porcentaje de germinación se obtuvo con las semillas que fueron tratados con dosis mayores a 1.0 Azida sódico (85 %). Los coeficientes de variación nos indican que los errores experimentales fueron controlados satisfactoriamente.
- Se encontró diferencias significativas en la altura de plantas, es decir, las semillas presentaron diferencias significativas en las tasas de crecimiento en las diferentes fechas de evaluación. En promedio la mayor altura de plantas de Trigo, se obtuvieron en T8 (15.30 cm) y T1 (14.91 cm) a los 11 días después de la siembra, en condiciones de laboratorio. Mientras que en condiciones de invernadero la mayor altura en las plantas de Trigo, se obtuvieron en T1 (13.35 cm) y T8 (13.28 cm) a los 18 días posteriores a la siembra. Por lo que para ambas condiciones de siembra se puede inferir que el mejor tratamiento fue el tratamiento T1 (0.5 Azida sódica). Contrariamente, y para ambos periodos, la menor altura se obtuvo con las

semillas que fueron tratados con el agente mutagénico (3.5 Azida sódico), obteniéndose 5.56 y 8.66 cm para los 11 y 18 días posteriores a la siembra. Los coeficientes de variación nos indican que los errores experimentales fueron controlados satisfactoriamente.

- Las semillas de Trigo tratados con diferentes dosis de Azida sódico, presentaron diferencias significativas en la longitud de raíz. A la dosis de 0.5 Azida sódico y Buffer, se obtuvo la mayor longitud de raíz con 21.69 y 21.29 cm respectivamente, sin embargo, no difieren estadísticamente a los tratamientos de T2 (1.0 Azida sódica) y T3 (1.5 Azida sódica), T4 (2.0 Azida sódica), T5 (2.5 Azida sódica) y T6 (3.0 Azida sódica), y finalmente entre T7 (3.5 Azida sódica) y T9 (control), respectivamente (Tabla 12). Por lo que T1 y T8, son los tratamientos más apropiados, para la obtención de longitud radicular mediana (entre 15 a 20 cm), suponiendo que a mayor longitud radicular se tendrá un mejor prendimiento y anclaje.
- Se obtuvo el mayor diámetro del tallo en promedio, a la dosis de 0.5 Azida sódico (T1) y Buffer (T8) con 1.98 y 1.83 mm. Contrariamente, se obtuvo el menor diámetro del tallo en el Control T9 (1.57 mm). También se puede deducir que conforme se incrementa la dosis del agente mutagénico (Azida sódica), disminuye el diámetro del tallo de la planta de trigo; sin embargo, a la dosis de 3.5 Azida sódico (T7) y control (T9), no existe diferencias significativas.

# RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

- Tratar una mayor cantidad de semillas a la dosis de (T1) 0.5 mM de azida de sodio, para evaluar la siguiente generación ($m_2$).
- Se recomienda elaborar ensayos con dosis menores a 2.0 de Azida de sodio a las empleadas y mayor tiempo de exposición al mismo, además de ampliar el número de muestras a estudiar para así poder determinar mejor el comportamiento de las semillas de trigo con otras variedades, los mismos que servirán para poder brindar una mejor recomendación.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Agrosistemas (2008), Trigo en línea. http://www.agrosistemas.es./servicios/perfiles%20de%20cultivos/trigo/trigo
2. Anapo, R. (2008). (Asociación de Productores de Oleaginosas Trigo), Departamento Técnico y Servicios. Estadísticos de la evolución de la superficie, rendimiento, producción y precio del cultivo de trigo en Santa Cruz. 15-20 p.
3. Carretero, R.; ***et al. (***2007). Las enfermedades foliares en el cultivo de trigo.
4. Universidad de Buenos Aires- Argentina. 268p
5. Carrillo, V. (2017). Concentración óptima de azida sódica en semillas de *Sesamum indicum* var. escoba blanca para inducción a mutaciones (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, Asunción, Paraguay.
6. Castillo, S. (2010). Inducción de mutaciones en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y selección de líneas tolerantes a imidazolinonas. Valdivia – Chile.
7. Datta, S. (2014). Induced mutagenesis: basic knowledge for technological success. In National Botanical Research Institute. India. Pp. 97-140.
8. FAO, (2015). Nota informativa sobre la oferta y la demanda de cereales.; Recuperado el 20 de abril 2017 de: https://goo.gl/HC6Xkb file:///O:/AGROINFORMACION-TRIGO.html.
9. Gaceta, M. (2013). Record en cosecha de trigo centenario. UNA La Molina, Lima Perú. Consultado 11 de noviembre del2012disponible: http://www.lamolina.edu.pe
10. Gruszka, D, (2012). Sodium Azide as a Mutagen, (January 2012), 159–166. https://doi.org/10.13140/2.1.2105.8560
11. Hoffman, E. (2010), Caracterización del Trigo.; Recuperado el 20 de abril 2017 de: https://goo.gl/Ft1Att
12. http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm: Infoagro. Cultivo del trigo 1ra. Parte.
13. Iñigo, P. (2010). Evaluación de variedades de triticale para distintos aprovechamientos: grano, forraje y biomasa energética y estudio comparativo

con variedades de trigo, España: Universidad Pública de Navarra. Recuperado el 20 de mayo de 2016 de:https://goo.gl/tjQZGU.

14. Llanos, D. (2013). Evaluación del efecto de la irradiación con rayos gamma (cobalto-60) en tres líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis de Lic. La Paz, Bo: UMSA. 32-42p.
15. Matijevic, M. (2013), Impact of induced mutations in plant breeding. In: Plant Genetics and Breeding Technologies. Editorial Monduzci. Vienna. Austria. Pp. 45 – 47.
16. Mellado M. (2004). Manejo tecnológico. Boletín INIA N° 114, Chillán, Chile.
17. Monroy, M. (2018). evaluación del efecto de dosis de azida de sodio sobre la regeneración de callo en caña de azúcar. escuintla, junio de 2018.
18. Palacio, C. (2006). Sanidad de cultivos. Informe técnico sanitario Nº 3. SIEF. INTA Venado Tuerto. 29p.
19. Pierce, B. (2009). Genetics: a conceptual approach. W. H. Freeman and Company. Third edition. New York. USA.707 p.
20. Rimache, A. (2008). Colección de cereales: trigo, cebada y avena. 1ra Edición. Perú. Edt. Macro E.I.R.L. 10 p.
21. Salas, L. (2015). La azida de sodio aplicada a las semillas de Salvia farinacea Benth. var. Blue Bedder para cambios genéticos. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Perú. 74 pp.
22. Scotiabank Perú. (2016), Informes anuales. Recuperado el 14 de marzo 2017 de: https://goo.gl/vXCSc8.
23. Vargas, C. (2016), generación de un protocolo para inducir variantes genéticas en café (*coffea arabica* L) mediante inducción con el uso de agentes químicos. Tesis Ingeniero Agrónomo.

# APENDICE

**Foto N° 1.** Limpieza y desinfección de materiales

**Foto N° 2.** Preparación de la solución azida de sodio y buffer

**Foto N° 3.** Dosis de la solución preparada

**Foto N° 4.** Sumergiendo las semillas a la solución y secado

**Foto N° 5.** Conteo y sembrado de las semillas en laboratorio e invernadero

**Foto N° 6.** Emergencia de la semilla de trigo

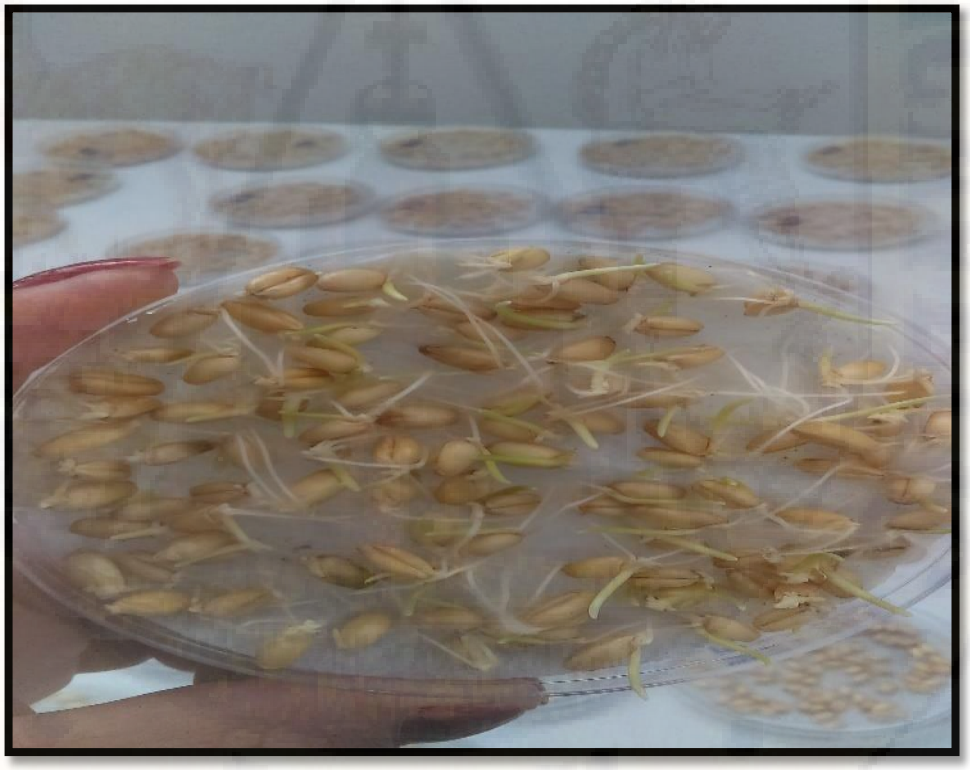
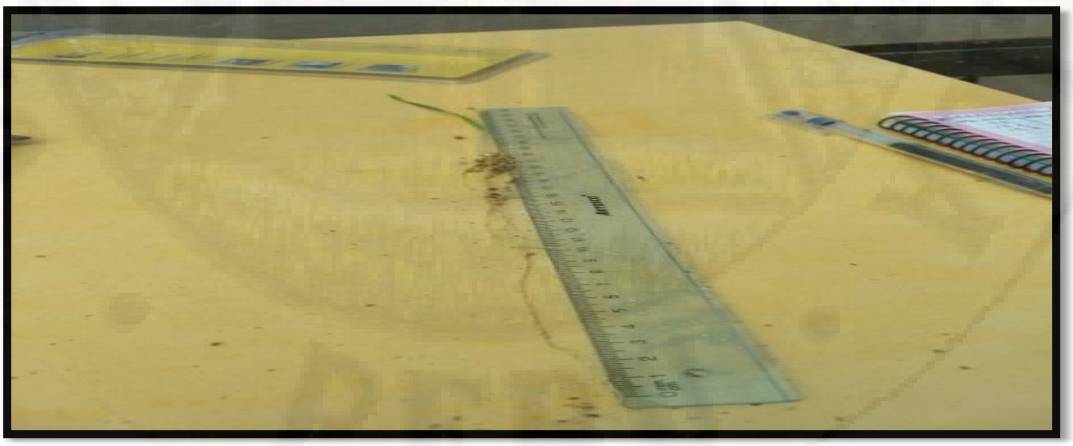


**Foto N° 7.** Crecimiento de la planta en los diferentes tratamientos

**Foto N° 8.** Extracción y Medición de altura de planta en los diferentes tratamientos



# MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL INFORME DE TESIS

## "MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA GENETICA DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L) POR INDUCCION MUTAGENICO CON AZIDA DE SODIO"

| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPOTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA TÉCNICAS E | INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. |
|---|---|---|---|---|---|
| **GENERAL:**<br>¿Qué efectos producirán la aplicación de diferentes dosis de azida de sodio a las semillas de trigo en la generación y desarrollo de nuevas plantas? | **GENERAL:**<br>➢ Evaluar los efectos de la aplicación de diferentes dosis de azida de sodio a las semillas de trigo en la generación y desarrollo de nuevas plantas.<br>**ESPECIFICOS**<br>➢ Determinar la dosis de azida de sodio que produce cambios fenotípicos en plantas de trigo.<br>➢ Evaluar el desarrollo de la planta de trigo proveniente de semillas tratadas con azida de sodio. | **GENERAL:**<br>Ha: Todas las dosis de azida de sodio aplicadas a las semillas de trigo, producirá cambios genéticos observables fenotípicamente.<br>Ho: No todas las dosis de azida de sodio aplicadas a las semillas de trigo, producirá cambios genéticos observables fenotípicamente. | **Variables independientes**<br>a.1. dosis de azida de sodio ($NaN_3$)<br>**Variable dependiente**<br>b.1. trigo<br>**Variable interviniente:**<br>• Temperatura<br>• Humedad<br>• Altitud<br>• Luminosidad<br>**Definición operativa de variables e indicadores** | **1. METODO GENERAL:**<br>Método científico.<br>**2. TIPO DE INVESTIGACION:**<br>El presente Proyecto de Investigación es considerado de tipo experimental porque se caracteriza por su interés, utilización y consecuencia prácticos de los conocimientos ya descritos o planteados busca el conocer para hacer, actuar, construir y/o para modificar los hechos.<br>**NIVEL DE INVESTIGACION**<br>**El trabajo de investigación es considerado de tipo experimental. Dado el nivel de conocimiento a obtener, de nivel básico (Carrasco 2013).**<br>**3. Método de investigación.**<br>El principio del método científico recurre a dos vías alternativas para elaborar los conceptos (teorías) que permiten acercarnos al entendimiento de la realidad. Para el presente trabajo de investigación se utilizará el método inductivo, el mismo que sugiere obtener conclusiones generales a partir de premisas particulares.<br>**4. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO**<br>• **Población.** Estuvo constituida por 400 plántulas de trigo por cada dosis de azida de sodio.<br>• **Muestra**. Para la evaluación de las variables se utilizó 10 plántulas por cada tratamiento en cada unidad experimental.<br>• **Muestreo. Para la selección de plántulas se utilizó el muestreo aleatorio simple.** | En base a la observación estructurada o formalizada, se utilizó entre otros instrumentos, regla de precisión, termómetro, etc. Los datos que integran los parámetros de laboratorio e invernadero, se recopilaron a lo largo de la fenología del cultivo, en diez plantas de cada unidad experimental.<br>**En laboratorio**<br>**Porcentaje de germinación (%). Se calculó mediante un conteo simple de semillas que muestren epicotilo y radícula a los 3, 7, 11 días post siembra.**<br>**Altura de planta (cm). Se midió la altura en 10 plántulas tomadas al azar de cada placa Petri a los 11 días después de la siembra.**<br>**En Invernadero**<br>**Porcentaje de emergencia (%). Se calculó en base a un conteo simple de presencia de cotiledones abiertos o no.**<br>**Altura de planta (cm). En la parte aérea, se midió la altura en 10 plántulas, tomadas al azar de cada macetero, con una frecuencia de 10 días hasta los 18 días después de la siembra. Los resultados se expresarán en promedio.**<br>**Longitud de raíz (cm). A los 18 días después de la siembra, se midió el tamaño de las raíces en 10 plántulas tomadas al azar de cada macetero, para lo cual serán desprendidos del macetero. Los resultados se expresaron en promedio.**<br>**Diámetro de tallo (mm). A los 18 días después de la siembra, se midió el diámetro del tallo en 10 plántulas tomadas al azar de cada macetero, para lo cual serán desprendidos del macetero. Los resultados se expresaron en promedio.** |

| Variable Independiente | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicador | Escala |
|---|---|---|---|---|---|
| Dosis de azida de sodio ($NaN_3$) | Es un efectivo agente Mutagénico del que es posible obtener una alta frecuencia de mutaciones con menor frecuencia de aberraciones cromosómicas. | Se remojaron las semillas de trigo en una solución por cada dosis por 1 hora. | mM | dosis | 0.0<br>0.5<br>1.0<br>1.5<br>2.0<br>2.5<br>3.0<br>3.5<br>Buffer |
| **Variable Dependiente (trigo)** | | | | | |
| LABORATORIO<br>porcentaje Germinación de semillas de trigo | Cantidad de semillas germinadas | Se contó la cantidad de semillas germinadas y por regla de tres simples se calculará el porcentaje de semillas germinadas. | (%) | Muy bueno<br>bueno<br>malo | > 100<br>50 – 95<br>< 50.00 |
| Altura de planta | Incremento constante en el tamaño de un organismo determinado por procesos de morfogénesis y diferenciación. | Se midió la altura de plantas desde el cuello de planta hasta el ápice. | cm | Alto<br>Medio<br>Bajo | > 20<br>10 – 19<br>< 10 |
| INVERNADERO<br>Porcentaje de emergencia | Es el logro de un adecuado número de plantas logradas al inicio del cultivo. | Se observó y se hizo el conteo | % | Muy bueno<br>bueno<br>malo | > 95.0<br>80 – 95<br>< 80.00 |
| Altura de planta | Incremento constante en el tamaño de un organismo determinado por procesos de morfogénesis y diferenciación. | Se midió la altura de plantas desde el cuello de planta hasta el ápice. | cm | Alto<br>Medio<br>Bajo | > 20<br>10 – 19<br>< 10 |
| Longitud raíz | Referido a la longitud de la raíz principal de la plántula. | Se midió la longitud de la raíz, desde el cuello de plántula hasta el ápice terminal de la raíz. | cm | Muy largo<br>Mediano<br>Pequeño | > 25<br>15 – 20<br>< 15 |
| Diámetro tallo | A medida que el cambium crece, el diámetro del tallo aumenta. | Se midió el diámetro del tallo de la planta. | mm | Grueso<br>Mediano<br>Delgado | > 3 mm<br>1–2 mm<br>< 1 mm |

**Fuente; Elaboración Propia**